

natuurkunde overal na vwo deel 4

UITWERKINGEN

epn

natuurkunde overal
na vwo deel 4

UITWERKINGEN

derde druk,
eerste oplage, 2009

Pieter Hogenbirk
Jan Frankemölle
Dik Jager
Raoul Majewski
Theo Timmers

ICT
André van der Hoeven
Theo Timmers

epn

inhoud

17 Golven

17.1 Inleiding

A 1

a Als de grafiek in het u,t-diagram een sinusoïde is.
Of: Als de kracht voldoet aan $\vec{F} = -C \cdot \vec{u}$.
b Amplitudo, frequentie, trillingstijd, uitwijking

B 2

a Tussen 20 Hz en ongeveer 20 kHz (voor ouderen lager)
b Het muzieknummer dat een fanfare twee straten verderop speelt, hoor je onvervormd. De instrumenten van een fanfare produceren verschillende tonen: je hoort geluid in verschillende frequenties. Alle tonen doen er even lang over om je te bereiken.

B 3

Watergolven breiden zich (cirkelvormig) uit over het wateroppervlak en dempen na verloop van tijd uit.

B 4

Radar (afkorting van RAdio Detecting And Ranging) maakt gebruik van elektromagnetische straling (voortplantingssnelheid van $3{,}0 \cdot 10^8$ m/s, gaat ook door vacuüm).
Sonar (afkorting van SOund Navigation And Ranging) maakt gebruik van geluid (voortplantingssnelheid in de orde van 10^2 tot 10^3 m/s, voor de voortplanting is een tussenstof nodig).

A 5

Hoe strakker de veer, hoe groter de golfsnelheid. NB De golfsnelheid hangt niet af van de frequentie van het uiteinde.

17.2 Golven

A 6

a Bij een transversale golf staat de trilling loodrecht op de voortplantingsrichting van de golf.
Bij een longitudinale golf beweegt de trilling in dezelfde richting als de golf.
b Een oppervlaktegolf is een golf waarbij het golffront zich in een tweedimensionaal vlak uitbreidt (op het wateroppervlak); een ruimtegolf verspreidt zich in drie dimensies.

B 7

In een luchtkolom zijn alleen longitudinale golven mogelijk. Geluid bestaat uit verdichtingen en verdunningen (van de luchtdruk) in drie dimensies. Voor een transversale golf moet de trilling zich langs een koord of langs een oppervlak kunnen verplaatsen en moeten de deeltjes krachten op elkaar uitoefenen.

A 8

a De deeltjes zitten daar dichter bij elkaar dan gemiddeld.
b De snelheid waarmee een golf zich voortplant
c De afstand van een berg en een dal (of een verdichting en een verdunning) samen.

C 9

a Onder het aardoppervlak is de kracht tussen moleculen sterker.
b De tijdsduur t_p voor de longitudinale golf, vanaf het ontstaan (Roermond) en de Bilt is te berekenen met
$s = v \cdot t$, $s = 115$ km, $v = 5{,}3$ km/s $\rightarrow$ $t_p = 21{,}70$ s
Uit de registratie volgt dat de S-golf 10 s later aankomt in de Bilt dan de P-golf (PQ is ongeveer $1/6^e$ van de afstand dat het papier in 1 minuut verschuift).
t_S (de tijdsduur voor de transversale golf) is
$21{,}70 + 10 = 31{,}7$ s
Met $s = v \cdot t$ en $s = 115$ km volgt: $v_S = 3{,}6$ km/s

C 10

a $s = v \cdot t = 1{,}5 \times 4{,}0 = 6{,}0$ m
b Elke trilling duurt $T = 1 / f = 0{,}50$ s. De tweede mug heeft dus $1{,}25 \times 0{,}50 = 0{,}63$ s bewogen.
c De golf deed er dus $4{,}0 - 0{,}625 = 3{,}375$ s over om de mug te bereiken. Daar hoort een afstand bij van
$s = v \cdot t = 1{,}5 \times 3{,}375 = 5{,}1$ m

A 11

a $\lambda = v \cdot T \rightarrow$ De golflengte is rechtevenredig met de trillingstijd.

b $\varphi = \frac{v}{\lambda} \cdot t$ Dus φ is omgekeerd evenredig met λ bij t en v constant.

A 12

a Ja, want de golflengte is de afstand die de golf in een trillingstijd aflegt. Bij grotere frequentie is de golflengte kleiner want de golfsnelheid blijft even groot, maar de trillingstijd wordt korter. Er passen dus meer golven tussen de twee punten.

b Ja, bij grotere golfsnelheid (en gelijke frequentie) legt een golf in een trillingstijd een grotere afstand af. Er passen dus minder golven tussen de twee punten.

B 13

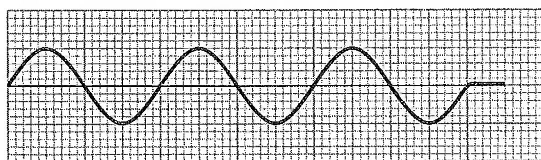
a $\lambda = v / f$, $v = 3{,}4 \cdot 10^2$ m/s, $f = 50$ Hz $\rightarrow$ $\lambda = 6{,}8$ m
b $\lambda = v / f$, $v = 3{,}4 \cdot 10^2$ m/s, $f = 1{,}5 \cdot 10^4$ Hz $\rightarrow$ $\lambda = 2{,}3 \cdot 10^{-2}$ m
c $\lambda = v / f$, $v = 3{,}4 \cdot 10^2$ m/s, $f = 5{,}0 \cdot 10^6$ Hz $\rightarrow$ $\lambda = 6{,}8 \cdot 10^{-5}$ m
d $\lambda = v / f$, $v = 1{,}5 \cdot 10^3$ m/s, $f = 5{,}0 \cdot 10^6$ Hz $\rightarrow$ $\lambda = 3{,}0 \cdot 10^{-4}$ m

B 14

a $t = s / v$, $s = 0{,}95$ m, $v = 2{,}0$ m/s $\rightarrow$ $t = 0{,}48$ s
b $\lambda = v \cdot T$, $\lambda = 0{,}30$ m, $v = 2{,}0$ m/s $\rightarrow$ $T = \lambda / v = 0{,}15$ m
c Twee punten met dezelfde gereduceerde fase liggen precies een geheel aantal golflengtes uit elkaar: $n \cdot \lambda = n \cdot 0{,}30$ m, met n een geheel getal.
d De gereduceerde fase verschilt een half bij $(n - ½) \cdot 0{,}30$ m ($n = 1, 2, 3$ enzovoort).
e $\Delta\varphi = \Delta x / \lambda = 0{,}95 / 0{,}30 = 3{,}2$

B 15

a $f = 2{,}0$ Hz, $T = 1 / f = 0{,}50$ s; $t = 1{,}5$ s, $\varphi = t / T = 3$ $\rightarrow$ 3 trillingen, dus $\varphi = 3{,}0$
b $v = s / t$, $s = 6{,}0$ m, $t = 1{,}5$ m $\rightarrow$ $v = 4{,}0$ m/s
c $\lambda = v \cdot T$, $v = 4{,}0$ m/s, $T = 0{,}50$ s $\rightarrow$ $\lambda = 2{,}0$ m
d De kop van de golf komt op 6,0 m van de bron. Er zijn drie volledige sinussen te zien, met amplitudo 1,0 cm. De kop bestaat uit een dal (het beginpunt ging eerst naar beneden). Het koord na 6,0 m is vlak. Zie figuur 17.1.



17.1

C 16

a $\lambda = v / f$, $v = 1{,}5 \cdot 10^3$ m/s, $f = 150 \cdot 10^3$ Hz $\rightarrow$ $\lambda = 1{,}0$ cm
b Per seconde zijn er $150 \cdot 10^3$ trillingen.
In 0,30 ms zijn $0{,}30 \cdot 10^{-3} \times 150 \cdot 10^3 = 45$ golven in de golftrein.
c De golftrein moet heen en terug 6,6 m afleggen.
$t = s / v$, $s = 6{,}6$ m, $v = 1{,}5 \cdot 10^3$ m/s $\rightarrow$ $t = 4{,}4$ ms
d Anders zou het geluid nog uitgezonden worden terwijl het ook al weer wordt teruggekaatst en ontvangen.

C 17

a Een volledige trilling is 6,0 hokjes;
$T = 1 / f = 1 / 330 = 3{,}0$ ms; tijdbasis = 0,5 ms/div
b De amplitudo van A is minder hoog, dus de microfoon staat verder weg; A hoort bij microfoon 2. Dus lijn B hoort bij microfoon 1.
c Daar waar bij A een dal zit, zit bij B een top en vice versa.
d Door het verschil in afstand (0,51 m) verschillen A en B precies een halve fase. Dat scheelt in de tijd $½T = 1{,}5$ ms.
$v = s / t = 0{,}51 / 1{,}5 \cdot 10^{-3} = 3{,}4 \cdot 10^2$ m/s

C 18

a $t = (29 \times 60{,}0 + 24{,}7) = 1764{,}7$ s
$v = s / t = 2{,}70 \cdot 10^6 / 1764{,}7 = 1{,}53 \cdot 10^3$ m/s
$\lambda = v / f$, $f = 57$ Hz $\rightarrow$ $\lambda = 27$ m

b De geluidssnelheid in zeewater bedraagt volgens (▸binas) tabel 15A bij 293 K $1{,}51 \cdot 10^3$ m/s.
Hier is de geluidssnelheid $2 \cdot 10^1$ m/s meer.
Dus de temperatuur is $2 \cdot 10^1 / 3{,}2 = 6$ K meer $\rightarrow$ $T = 299$ K

17.3 Interferentie

A 19

a Interferentie is het verschijnsel dat een punt gelijktijdig aan meerdere trillingen meedoet.
b Het gereduceerde faseverschil is het verschil in gereduceerde fase tussen twee golven die een punt bereiken.
c Coherente bronnen zijn bronnen die dezelfde trilling uitvoeren; dezelfde frequentie en dezelfde (gereduceerde) fase.

A 20

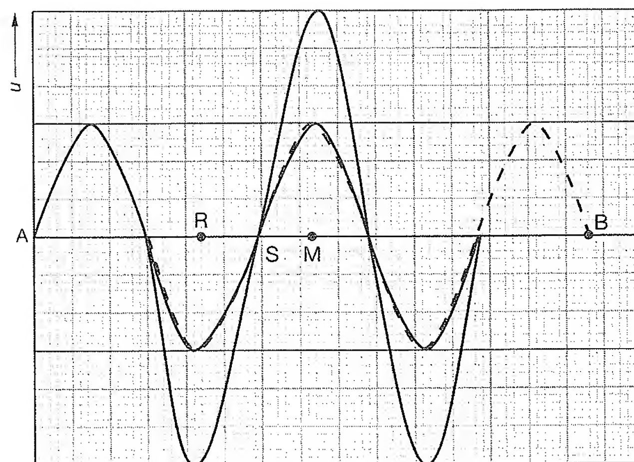
In ondiep water is de voortplantingssnelheid kleiner. Wegens $\lambda = v / f$ is de golflengte ook kleiner (f blijft gelijk). Er treedt breking op naar de normaal toe.

B 21

a Het weglengteverschil
b Groter
c De golflengte verandert daardoor ook. Bij grotere frequentie wordt de golflengte kleiner. Het weglengteverschil, uitgedrukt in het aantal golflengtes, wordt op dezelfde plaats groter (in meters uitgedrukt blijft dit gelijk).

C 22

a Tussen A en B bestaat een vast verschil in fase (= 0).
b $\lambda = v \cdot T$, $\lambda = 0{,}40$ m, $T = 0{,}10$ s $\rightarrow$ $v = 4{,}0$ m/s
c $0{,}20\text{ s} = 2 \cdot T$ $\rightarrow$ Kop van de golf (een dal) is op 2λ van de bron gekomen. Op het deel tussen 20 cm ná A en 20 cm vóór B is er interferentie. Zie figuur 17.2.
d MA = MB: Op hetzelfde moment komen de golven die vanuit A en vanuit B in fase vertrokken zijn in M aan.
e BS – AS = 60 – 40 = 20 cm = $½\lambda$, $\Delta x = ½\lambda$ $\rightarrow$ S is een knoop.
f Nee, er is wel een vast verschil in fase (= ½), maar de bronnen trillen niet *in* fase.
g S wordt nu een buik.



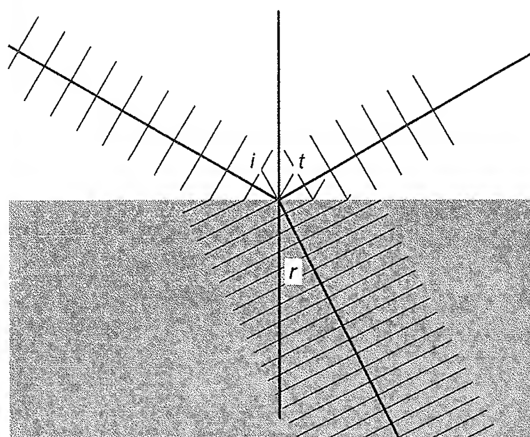
17.2

C 23

a Interferentie: als je twee bronnen in fase hebt, moet je versterking en verzwakking horen.
b Je hoort even later het geluid weer: echo.
c Langs een geluidswal, maar ook in een klaslokaal met de deur open.

C 24

a Als de hoek van inval groter wordt, dan wordt de hoek van breking ook groter.
b Zolang de brekingsindex groter is dan 1 is er altijd breking mogelijk.
c Een grotere brekingsindex levert een grotere breking op.
d De kleur van de golven en de afstand tussen de toppen veranderen. Ook zou de brekingsindex en de hoek van breking moeten veranderen, maar dit wordt door deze applet niet goed gesimuleerd.
e Zie figuur 17.3 als voorbeeld.



17.3

17.4 Staande golven en resonantie

A 25

Je hebt bij voorbeeld een stemvork met een frequentie van 440 Hz. Met $\lambda = v / f$ vind je bij een geluidssnelheid van 340 m/s een golflengte van 77 cm. De klankkast is 0,18 m. Dus de golflengte is ongeveer 4 keer zo groot als de klankkast.

A 26

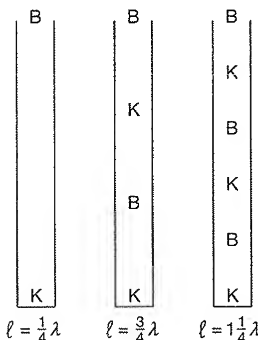
a Het gezoem heeft een bepaalde frequentie. De luchtkolom in het half gevulde glas is zo lang dat de eigenfrequentie hiervan toevallig even groot is.
b Door het inschenken ontstaan geluiden in heel veel frequenties en golflengtes. Er ontstaat resonantie in de luchtkolom in díe frequentie waarvoor de lengte van de luchtkolom precies gelijk is aan $^1/_4\lambda$ (grondtoon). Door het vullen van het glas wordt deze lengte steeds kleiner, en de golflengte dus ook. Bij een kleinere golflengte hoort een hogere frequentie en dus resonantie in een hogere toon.

A 27

a Je blaast heel veel frequenties. Er ontstaat resonantie in die frequentie waarvoor de lengte van de luchtkolom precies gelijk is aan $^1/_4\lambda$ (als de luchtkolom één knoop (bovenaan) en één buik (onderaan in de toeter) heeft).
b Je hoort nog enkele boventonen. Hun golflengte is kleiner en er kan nog een aantal keren meer $^1/_4\lambda$ op de lengte van de luchtkolom passen.
c $\lambda = v / f$, de golflengte blijft gelijk (= 4× lengte van de luchtkolom), v neemt iets toe $\rightarrow f$ neemt iets toe.

B 28

a Snaar: Staande golven als de lengte = $n \cdot ½\lambda$. Er zijn dan n buiken en $n + 1$ knopen (uiteinden meegeteld) (n = 1, 2, 3, ...). Zie figuur 17.28 in het leerboek.
Een luchtkolom heeft een vast uiteinde en een open uiteinde. Staande golven ontstaan als de lengte van de kolom gelijk is aan $(2n - 1) \cdot {^1/_4}\lambda$ (n = 1, 2, 3 ...). Zie figuur 17.4.
b Op de plaats van het aanstrijken ontstaat een buik. Zo te zien is dat op ongeveer één kwart van de snaarlengte (tot de plaats waar de andere vinger de snaar afklemt). Vergelijking met de figuur van de eerste boventoon geeft aan dat dit patroon daarmee overeenkomt.



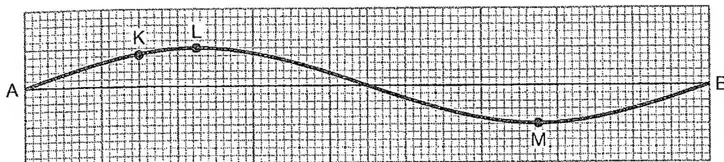
17.4

C 29

a Resonantie
b Door het aanslaan van de eerste stemvork is de lucht in trilling gebracht. De lucht zet de tweede stemvork in trilling (resonantie). Als de eerste wordt gedempt, zal de tweede nog verdergaan.
c De toon is lager, dat betekent dat de golflengte groter is. De klankkast moet langer zijn (lengte is 4× de golflengte in de grondtoon).

B 30

a $\lambda = v / f = 900 / 500 = 1{,}80$ m. Er past dus precies een volledige golf op het touw. Halverwege het touw zit een knoop, op $^1/_4$ en $^3/_4$ een buik. Zie figuur 17.5 op de bladzijde hiernaast.
b $T = 1 / f \rightarrow T = 2{,}0$ ms $\rightarrow$ 0,50 ms = $^1/_4T$ na de uiterste stand is *elk punt* in de evenwichtsstand. Je ziet één gestrekt touw tussen A en B.
c K en L liggen op dezelfde helft, dat betekent dat die twee punten in fase zijn (maar met verschillende amplitudo!). K en M liggen op naast elkaar liggende helften, dus die twee punten zijn juist in tegenfase.
d De laagste frequentie kan ontstaan als de lengte van de draad precies ½λ is. De golflengte is dan twee maal zo groot als de bovenstaande situatie, dus de frequentie twee maal zo klein: f = 250 Hz.



17.5

B 31

Er zijn dus 3× stukken van ½λ op de draad → λ = 0,667 m
Met λ = v / f, v = 120 m/s → f = 180 Hz

B 32

a De lengte van de buis is gelijk aan $^1/_4\lambda$ → λ = 0,772 m
Met λ = v / f, v = 343 m/s → f = 444 Hz

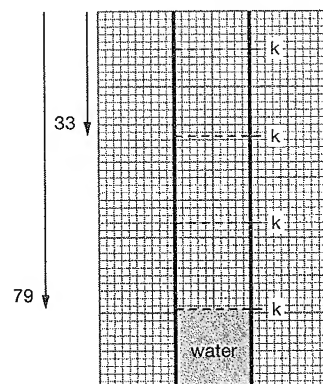
b Bij de eerste boventoon is de lengte van de buis gelijk aan $^3/_4\lambda$;
λ = 0,257 m (3× zo klein), f = v / λ = 1,33 kHz (drie keer zo groot).

C 33

a Zie figuur 17.6.
Blijkbaar is ½λ gelijk aan 23 cm (steeds het verschil tussen opeenvolgende maxima) → λ = 46 cm

b De bovenste knoop ligt ½λ (= 23 cm) boven de meting van 33 cm, 33 − 23 = 10 cm onder de rand. De bovenste buik ligt hier $^1/_4\lambda$ = 23 / 2 = 11,5 cm boven. Dat is 11,5 − 10 = 1,5 cm boven de rand.

c $v = \lambda \cdot f$, λ = 0,46 m, f = 740 m/s → $v = 3{,}4 \cdot 10^2$ m/s



17.6

C 34

a De klankkast van een stemvork is steeds $^1/_4\lambda$, dus oorspronkelijk is λ = 0,72 m, $v = \lambda \cdot f$, f = 440 Hz → v = 317 m/s
Bij de tweede stemvork is λ = 0,10 m;
f = v / λ, v = 317 m/s → f = 3,2 kHz

b Ja, je hoort de toon van 3,2 kHz beter. Een 2× zo hoge toon heeft een 2× zo kleine golflengte (dus 5,0 cm). Staande golven kunnen alleen optreden als 2,5 cm = $^3/_4\lambda$ of $^5/_4\lambda$ enzovoorts.

c Ja. Een lagere frequentie geeft een grotere golflengte, deze 'past' niet meer in je oor.

d De klankkast zal steeds groter worden, dat betekent dat de golflengte ook steeds groter wordt, de frequentie wordt dus steeds lager.

C 35

a Je mondholte is ongeveer 10 cm diep, λ = 40 cm,
f = v / λ, v = 343 m/s →
$f = 8{,}6 \cdot 10^2$ Hz; dat is de grondtoon.
Boventonen liggen bij drie, vijf enzovoort keer zo hoge frequenties.

b De geluidssnelheid in helium is bijna drie keer zo groot als in lucht. Dat betekent dat bij dezelfde lengte van de mondholte (en dus dezelfde golflengte) de frequentie ongeveer drie keer zo groot is, dus de stem klinkt veel hoger.

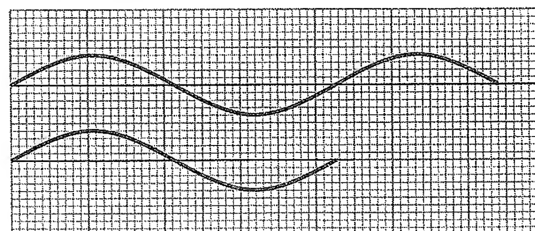
B 36

a De grondtoon betekent ℓ = ½λ → λ = 1,280 m
$v = \lambda \cdot f$, f = 440 Hz → v = 563 m/s

b λ = v / f, v = 563 m/s, f = 660 Hz → λ = 0,853 m
In de grondtoon is de lengte van de snaar ½λ →
De snaar is 0,427 m lang.
Een snelle berekening: de frequentie is 660 / 440 = 1,5× zo groot. Bij dezelfde golfsnelheid is de golflengte dus 1,5× zo klein. De nieuwe lengte is dus 0,640 / 1,5 = 0,427 m.

c De frequenties van de boventonen zijn gehele veelvouden van de frequentie van de grondtoon.
3 × 440 = 2 × 660 = 1320 = $1{,}32 \cdot 10^3$ Hz

d Zie figuur 17.7. De langere snaar trilt bij 1320 Hz in zijn tweede boventoon, en heeft dus drie buiken; de kortere snaar trilt in zijn eerste boventoon en heeft dus twee buiken.



17.7

C 37

a Op de afbeelding is $^3/_4\lambda$ op een lengte van 1,40 m →
λ = 1,87 m

b f = 10,5 Hz; $v = \lambda \cdot f$ → v = 19,6 m/s

c De laagste frequentie is als 1,40 m = $^1/_4\lambda$ → λ = 5,60 m;
f = v / λ, v = 19,6 m/s = 3,5 Hz. Dat klopt, een 3× zo kleine frequentie.

17.5 Geluid

A 38

a De verschillende frequenties die voorkomen in een bepaald geluid
b Geluid plant zich voort door trillingen in de voortplantingsrichting; er zijn daardoor verdichtingen en verdunningen van de lucht (drukverschillen).

A 39

a $v = s / t$, $s = 1{,}00$ m, $t = 2{,}91 \cdot 10^{-3}$ s $\rightarrow$ $v = 344$ m/s
b De geluidssnelheid wordt groter bij hogere temperatuur; de tijd die het geluid doet over 1,00 m is dan kleiner.

A 40

a $t = s / v$, $v_g = 5{,}1 \cdot 10^3$ m/s ((▸binas) tabel 15A), $s = 100$ m $\rightarrow$ $t = 0{,}020$ s
b $t = s / v$, $v_g = 1{,}540 \cdot 10^3$ m/s ((▸binas) tabel 15A), $s = 100$ m $\rightarrow$ $t = 0{,}0649$ s

A 41

a $T = 1 / f = 0{,}40$ ms $\rightarrow$ 1 hokje $= 0{,}10 \cdot T = 4{,}0 \cdot 10^{-5}$ s. De tijdbasis staat ingesteld op 40 μs/div.
b De amplitudo wordt minder groot.
c Het hele scherm is 20 ms, daarin zijn vier perioden te zien $\rightarrow$ $T = 5{,}0$ ms $\rightarrow f = 1 / T = 2{,}0 \cdot 10^2$ Hz

A 42

a 3 h 21 min en 30 s $\rightarrow$ 12 090 s
Voor de diepte s van het gat geldt: $s = v \cdot t$ met $v = 343$ m/s en $t = ½ \times 12\,090$ s $\rightarrow$ $s = 2{,}07 \cdot 10^6$ m
b $R_{aarde} = 6{,}378 \cdot 10^6$ m ((▸binas) tabel 31). Het is wel een diep gat: je boort tot op 1/3 van de aardstraal!

C 43

a De informatie van het 'zien' gaat met de lichtsnelheid, de informatie van het 'horen' gaat met de geluidssnelheid. De lichtsnelheid is veel groter, dus de lichtinformatie bereikt je eerder.
b Het licht gaat zo snel: de tijdsduur van de voortplanting van licht is te verwaarlozen. De heipaal slaat voor de tweede maal op het moment dat de persoon het geluid van de eerste klap hoort.
c $t = s / v$, $s = 570$ m, $v = 343$ m/s $\rightarrow$ $t = 1{,}66$ s
Dit is ook de tijd die zit tussen twee opeenvolgende klappen $\rightarrow$ $f = 1 / T = 0{,}60$ Hz

B 44

a Aflezen: vijf tussenpozen in 0,70 – 0,66 = 0,04 s
De frequentie is 1 / (0,04:5) = 125 Hz
b $v_{gem} = s / t = 0{,}80 / (0{,}70 - 0{,}39) = 2{,}6$ m/s
c Het ultrasone geluid heeft de afstand $s = 2 \times 0{,}80$ m afgelegd met 343 m/s $\rightarrow$ $t = 4{,}7 \cdot 10^{-3}$ s

C 45

a $s = v \cdot t$, $v = 1{,}53 \cdot 10^3$ m/s, $t = 6{,}4 \cdot 10^{-5}$ $\rightarrow$ $s = 0{,}098$ m
De nier ligt 0,5 s = 4,9 cm onder de huid.
b De echo moet terugkomen binnen 998 + 2 = 1000 μs.
Het geluid kan 500 μs diep gaan $\rightarrow$ diepte $= v \cdot t = 0{,}77$ m

B 46

Als je het geluid maximaal hoort, zijn de golven van de beide luidsprekers in fase. De eerste mogelijkheid is, dat het weglengteverschil precies één λ is.
Met $\lambda = v / f$, $\lambda = 1{,}1$ m, $v = 340$ m/s $\rightarrow$ $f = 3{,}1 \cdot 10^2$ Hz
De volgende mogelijkheid is dat het weglengteverschil 2λ is $\rightarrow$ $\lambda = 0{,}55$ m
Met $\lambda = v / f$, $\lambda = 0{,}55$ m, $v = 340$ m/s $\rightarrow$ $f = 6{,}2 \cdot 10^2$ Hz
Algemeen: $f = n \times 3{,}1 \cdot 10^2$ Hz, met n een geheel getal.
Bedenk wel dat je geluid met een frequentie van boven de 20 000 Hz niet meer kunt horen.

C 47

a Het vermogen van de bron wordt verdeeld over het oppervlak van een cirkel. Verder van de bron wordt dat oppervlak groter. De intensiteit, het vermogen dat per m² oppervlak, neemt af.
b Er is sprake van destructieve interferentie, de golven van B doven de golven van A (deels) uit.
c De golven uit A en B zijn in C precies in tegenfase. Omdat B iets verder weg staat van C, is de geluidsintensiteit van B iets kleiner. Door deze bron iets harder te zetten, kan in C de uitwijking van de golf uit B op ieder moment even groot zijn maar tegengesteld zijn aan de uitwijking van de golf uit A.

17.6 Het golfkarakter van licht

A 48

Je ziet geen interferentie; er is geen sprake van coherente lichtbronnen.

A 49

Eenparige beweging $\rightarrow$
$t = s / v = 12{,}0 / 2{,}998 \cdot 10^8 = 4{,}00 \cdot 10^{-8}$ s

A 50

a $\lambda = c / f = 3{,}00 \cdot 10^8 / 0{,}666 \cdot 10^{15} = 4{,}50 \cdot 10^{-7}$ m
b Volgens (▸binas) tabel 19A: blauw(violet)
c $f = 2{,}998 \cdot 10^8 / 650 \cdot 10^{-9} = 4{,}61 \cdot 10^{14}$ Hz. De frequentie in vacuüm en in lucht is dezelfde.

B 51

De frequentie in water is even groot als die in lucht.
$\lambda = c / f = 3{,}00 \cdot 10^8 / 0{,}72 \cdot 10^{15} = 4{,}2 \cdot 10^{-7}$ m

A 52

a De maxima komen verder uit elkaar te liggen.
b De maxima komen verder uit elkaar te liggen.

C 53

Lenssterkte van het hoornvlies veranderen door met een laser de bolling aan te passen

B 54

a $\lambda = d \cdot x / \ell$

b $\lambda = d \cdot x / \ell = 20 \cdot 10^{-6} \times 12 \cdot 10^{-2} / 3{,}4 = 7{,}1 \cdot 10^{-7}$ m

c Volgens (▸binas) tabel 19A: rood

B 55

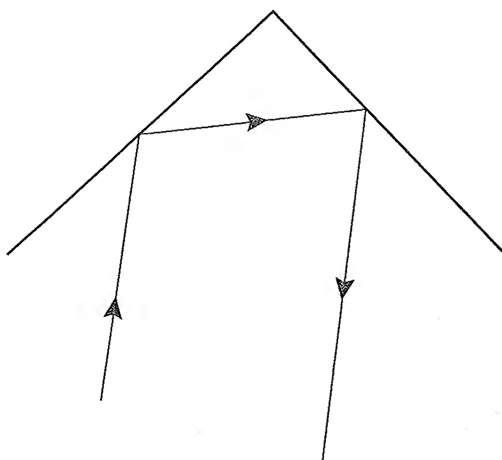
a Dan komt het licht niet steeds terug op de plek waar het vandaan kwam.

b De spiegels zijn zó opgesteld dat de laserstraal die vanaf de aarde wordt gestuurd, altijd van de ene spiegel naar een andere kaatst. Vervolgens wordt de laserstraal altijd evenwijdig aan de invallende straal teruggekaatst. Zie figuur 17.8.

c Het licht legt 2× de afstand aarde-maan af in die tijdsduur.
Eenparige beweging: = afstand = snelheid / tijdsduur →
$2 \times s_{AM} = 2{,}998 \cdot 10^8 \times 2{,}422 = 7{,}261 \cdot 10^8$ m →
$s_{AM} = 3{,}631 \cdot 10^8$ m

d Het licht legt 2× de afstand aarde-maan af in de gevraagde tijdsduur.
$t = 2 \times s_{AM} / v = 2 \times 405{,}5 \cdot 10^6 / 2{,}998 \cdot 10^8 = 2{,}705$ s

e Volgens (▸binas) tabel 31: aardstraal = 6378 km
60×6378 km $= 3{,}83 \times 10^8$ m
Die oude Grieken zaten er nog geen 6% naast.



17.8

C 56

a In vezel: $2{,}9979 \cdot 10^8 / 1{,}541 = 1{,}9448 \cdot 10^8 = 1{,}945 \cdot 10^8$ m/s
In omhulsel: $2{,}9979 \cdot 10^8 / 1{,}507 = 1{,}9893 \cdot 10^8 = 1{,}989 \cdot 10^8$ m/s

b $n = 1{,}9448 \cdot 10^8 / 1{,}9893 \cdot 10^8 = 0{,}97762$ →
$\sin i_g / \sin 90 = 0{,}97762 \rightarrow g = 77{,}86°$

C 57

a $f = c / \lambda = 3{,}00 \cdot 10^8 / 710 \cdot 10^{-9} = 4{,}22 \cdot 10^{14}$ Hz

b Rendement = $(P_{nuttig} / P_{in}) \times 100\% = (P_{licht} / P_{el}) \times 100\% = (25 / (380 \times 13)) \times 100\% = 0{,}51\%$

c De maximale snijsnelheid hangt af van:
- de dikte van de plaat (kleinere snijsnelheid bij dikkere plaat)
- de soortelijke warmte (kleinere snijsnelheid bij grotere soortelijke warmte)
- het smeltpunt (kleinere snijsnelheid bij hoger smeltpunt)
- de begintemperatuur (kleinere snelheid bij lagere begintemperatuur)
- het geleidingsvermogen voor warmte (kleinere snelheid bij groter geleidingsvermogen)

17.7 De tralie

A 58

$d = 0{,}01 / 3600 = 2{,}778 \cdot 10^{-6}$ m

B 59

Aantal lijnen = 36 mm / 24 µm = $36 \cdot 10^{-3} / 24 \cdot 10^{-6} = 1{,}5 \cdot 10^3$

C 60

Golfsnelheid geluid : golfsnelheid licht = $340 : 3 \cdot 10^8 \sim 1 : 1 \cdot 10^6$
Frequentie geluid : frequentie licht ~ $1000 : 1 \cdot 10^{15} = 1 : 1 \cdot 10^{12}$
Golflengte geluid : golflengte licht ~ $0{,}5 : 500 \cdot 10^{-9} = 1 : 1 \cdot 10^{-6}$

B 61

$\sin \alpha_n = n \cdot \lambda / d$ met $d = 1/600$ mm $= 1{,}67 \cdot 10^{-6}$ m
$\sin \alpha_n = n \cdot 650 \cdot 10^{-9} / 1{,}67 \cdot 10^{-6} = 0{,}390 \cdot n$
$n = 0 \rightarrow \alpha_0 = 0°$
$n = 1 \rightarrow \alpha_1 = 23{,}0°$ (links en rechts van 0de orde)
$n = 2 \rightarrow \alpha_2 = 51{,}3°$ (links en rechts van 0de orde)
$n = 3 \rightarrow$ geen bundels meer

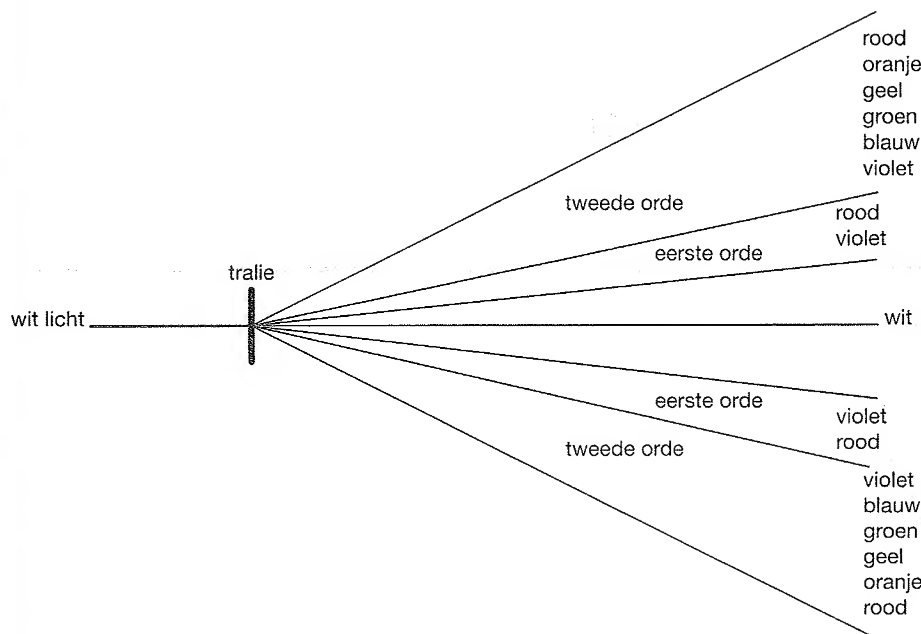
B 62

Voor het 1ste orde maximum geldt:
$\tan \alpha = 2{,}2 \cdot 10^{-2} / 1{,}8 \rightarrow \alpha = 0{,}70°$
$\sin \alpha = \sin 0{,}70° = 1{,}2 \cdot 10^{-2}$
$d = \lambda / \sin \alpha = 580 \cdot 10^{-9} / 1{,}2 \cdot 10^{-2} = 4{,}7 \cdot 10^{-5}$ m (47 µm)

B 63

a *Analyse*
De plaats wordt weergegeven door de afstand x_n ten opzichte van het 0de orde maximum.
Er geldt $x_n = \ell \cdot \tan \alpha_n = \tan \alpha_n$;
de hoek volgt uit $\sin \alpha_n = n \cdot \lambda / d$.
Gegevens
$\lambda = 380$ nm en $n = 1$ en $n = 2$
$\lambda = 760$ nm en $n = 1$ en $n = 2$
$d = 0{,}01 / 3000 = 3{,}333 \cdot 10^{-6}$ m; $\ell = 1{,}00$ m
Berekening uitvoeren
voor $\lambda = 380$ nm: 1ste orde maximum:
$x_1 = 1{,}14 \cdot 10^{-1}$ m (11,4 cm)
voor $\lambda = 760$ nm: 1ste orde maximum:
$x_1 = 2{,}34 \cdot 10^{-1}$ m (23,4 cm)
voor $\lambda = 380$ nm: 2de orde maximum:
$x_2 = 2{,}34 \cdot 10^{-1}$ m (23,4 cm)
voor $\lambda = 760$ nm: 2de orde maximum:
$x_2 = 5{,}12 \cdot 10^{-1}$ m (51,2 cm)

b Zie figuur 17.9 op de volgende bladzijde.



17.9

B 64

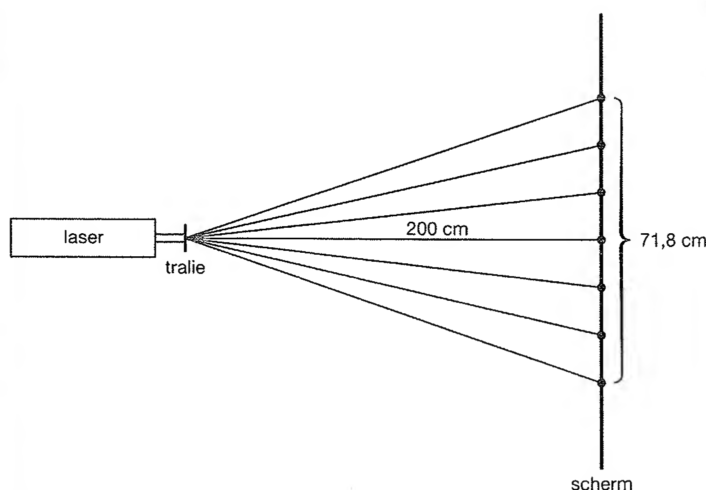
a Zie figuur 17.10.

b Uit de gegevens volgt: $x_3 = 71{,}8 / 2 = 35{,}9$ cm $= 35{,}9 \cdot 10^{-2}$ m en $d = 1 \cdot 10^{-3}$ cm $= 1 \cdot 10^{-5}$ m.
Er geldt: $\tan \alpha_3 = x_3 / \ell = 35{,}9 \cdot 10^{-2}/2{,}00 \rightarrow \alpha_3 = 10{,}2°$
$3 \cdot \lambda = d \cdot \sin \alpha_3 \rightarrow \lambda = 1 \cdot 10^{-5} \times 1{,}75 \cdot 10^{-1} / 3 = 5{,}89 \cdot 10^{-7}$ m

c Hoogste orde: $n_{max} = d / \lambda = 16{,}98$; n_{max} moet geheel zijn, dus $n_{max} = 16$ (afkappen).

B 65

Bij een tralie geldt (als $d < \lambda$) dat de intensiteit in de maxima nagenoeg overal even groot is. Tussen de maxima is er geen licht.
Bij een dubbelspleet verloopt de intensiteit van de maxima van 0 via maximaal tot 0. Aansluitend volgt een volgend maximum.



17.10

B 66

a Voor de middelste bundel geldt $n = 0$; voor elke λ is de afbuigingshoek dezelfde (namelijk 0). Alle kleuren bij elkaar levert de kleurindruk wit op.

b De kleur met de kleinste hoek α, dus met de kleinste golflengte dus violet.

B 67

a Bij een tralie treedt interferentie op tussen de bundels die uit de tralie komen. Iedere spleet fungeert als bron van lichtgolven. Bij een cd worden alle bundels niet doorgelaten, maar teruggekaatst. Bij deze teruggekaatste bundels treedt ook interferentie op.

b $\lambda = 633$ nm; $\tan \alpha = 0{,}083 / 1{,}02 = 8{,}14 \cdot 10^{-2} \rightarrow \alpha = 4{,}65°$
$\rightarrow \sin \alpha = 8{,}11 \cdot 10^{-2}$
$d = \lambda / \sin \alpha = 633 \cdot 10^{-9} / 8{,}11 \cdot 10^{-2} = 7{,}8 \cdot 10^{-6}$ m

c Je ziet de eerste orde reflectie van het witte licht.

C 68

a Het 0de orde maximum is de verzameling van alle kleuren op dezelfde plaats (afbuigingshoek 0°). Dit is het licht dat de tl-lamp uitzendt. De 1ste orde maxima ontstaan doordat elke kleur zijn eigen afbuigingshoek heeft.

b $\tan \alpha_{violet} = 3{,}4 \cdot 10^{-2} / 0{,}85 = 0{,}0400 \rightarrow \alpha_{violet} = 2{,}29°$
Met $\lambda = d \cdot \sin \alpha$ volgt $\lambda_{violet} = 4{,}4 \cdot 10^{-7}$ m

c $\sin \alpha_{groen} = \lambda_{groen} / d = 546 \cdot 10^{-9} / 11 \cdot 10^{-6} = 0{,}0496 \rightarrow \tan \alpha_{groen} = 0{,}0497$
$x_{groen} = \ell \cdot \tan \alpha_{groen} = 0{,}85 \times 0{,}0497 = 4{,}2 \cdot 10^{-2}$ m (= 4,2 cm)

18 Evenwicht

18.1 Inleiding

A 1

a De spierkracht veroorzaakt geen draaiing omdat de kracht door het draaipunt gaat.
b Het is moeilijk je evenwicht te bewaren, je valt steeds om.

B 2

De vereiste grote kracht (door de sleutel) ontstaat doordat er op een grote afstand van de as een spierkracht wordt uitgeoefend.

C 3

a $M = F \cdot r$ en $W = F \cdot s$
b $[M] = [F] \cdot [r] = \text{N} \cdot \text{m}$ en $[W] = [F] \cdot [s] = \text{N} \cdot \text{m}$
c Arbeid is een scalar. Het wordt berekend uit twee vectoren, maar heeft zelf alleen een grootte, geen richting. Wel een teken dat afhangt van de onderlinge richting van $\vec{F}$ en $\vec{s}$.
d Het moment heeft wel een grootte, maar geen richting langs een lijn. Het is dus geen vector zoals een kracht.
e De energie die een voorwerp bezit, gaat (gedeeltelijk) van dat voorwerp naar een ander voorwerp. Bij een botsing van een rijdende auto tegen een stilstaande auto gaat de kinetische energie van de rijdende auto (gedeeltelijk) naar de stilstaande auto die daardoor snelheid krijgt.
f De kracht die op één plaats wordt uitgeoefend, heeft gevolgen op een andere plaats. Bij het trekken van een slee door de sneeuw, oefen je een spierkracht uit op het touw. Dit touw brengt die spierkracht via een spankracht over op de slee.
g De energie die een voorwerp bezit, verandert van naam. Bij een vallende bal verandert de zwaarte-energie in kinetische energie.

B 4

De laatste manier gaat veel gemakkelijker.

18.2 Hefbomen

A 5

a Er is evenwicht als de momenten van beide krachten even groot zijn. Dat kan als de kleine kracht op grotere afstand van het draaipunt werkt als de grotere kracht.
b Door de spierkracht op een grote afstand van een draaipunt uit te oefenen, kun je met een veel grotere kracht een voorwerp opheffen dat zich dicht bij dat draaipunt bevindt.

A 6

a Het gewichtje van 29 g betekent een 2× zo kleine kracht → er is een 2× zo grote arm nodig om evenwicht te krijgen. Het gewichtje moet dus 24 cm rechts van het draaipunt worden gehangen.
Alternatief:
$F_L \cdot r_L = F_R \cdot r_R \rightarrow$
$M_L \cdot g \cdot r_L = M_R \cdot g \cdot r_R \rightarrow$
$M_L \cdot r_L = M_R \cdot r_R \rightarrow$
$M_R = M_L \cdot r_L / r_R = 0{,}058 \times 0{,}12 / 0{,}029 = 0{,}24$ m
b $F_L \cdot r_L = F_R \cdot r_R \rightarrow$
$M_L \cdot g \cdot r_L = M_R \cdot g \cdot r_R \rightarrow$
$M_L \cdot r_L = M_R \cdot r_R \rightarrow$
$r_R = M_L \cdot r_L / M_R = 0{,}058 \times 0{,}12 / 0{,}017 = 0{,}041$ kg
c De zwaartekracht op de balans gaat door het draaipunt → geen moment → geen draaiing

B 7

a De massa van de aarde vind je in (▸binas) tabel 31.
$M_{Aarde} = F_{Aarde} \cdot r_{Aarde} = (5{,}976 \cdot 10^{24} \times 9{,}8) \times 0{,}23 = 1{,}4 \cdot 10^{25}$ N · m
b De arm van de spierkracht van Archimedes is $5{,}00 - 0{,}23 = 4{,}77$ m
$F_{Arch} \cdot r_{Arch} = 1{,}35 \cdot 10^{25} \rightarrow$
$F_{Arch} = 1{,}347 \cdot 10^{25} / 4{,}77 = 2{,}8 \cdot 10^{24}$ N
c De verhouding van de armen is het omgekeerde van de krachtverhouding.
$F_{Aarde} : F_{Arch} = (5{,}976 \cdot 10^{24} \times 9{,}8) : 550 = 1{,}1 \cdot 10^{22} : 1 \rightarrow$
$r_{Aarde} : r_{Arch} = 1 : 1{,}1 \cdot 10^{22}$

B 8

a Op blok en vlieg werkt een zwaartekracht
$F_z = m \cdot g = 5{,}2 \times 9{,}81 = 51{,}01$ N
Gebruik de hefboomwet.
$F_{blok} \cdot r_{blok} = F_{spier} \cdot r_{spier} \rightarrow$
$51{,}01 \times 0{,}10 = F_{spier} \times 0{,}45 \rightarrow F_{spier} = 11$ N
b 1,2 m
c $\Delta E_z = m \cdot g \cdot h = 5{,}2 \times 9{,}81 \times 1{,}2 = 61$ J
d W = de omgezette energie = $\Delta E_z = 61$ J
Alternatief:
Door de verhouding 10 : 45 van de middellijnen verplaatst de spierkracht zich over $1{,}2 \times 4{,}5 = 5{,}4$ m →
$W_{spier} = F_{spier} \cdot s_{spier} = 11{,}34 \times 5{,}4 = 61$ N · m

B 9

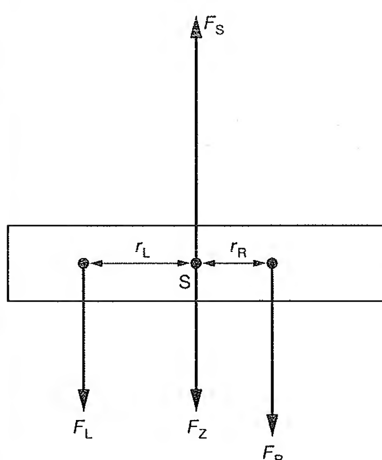
a $F_L \cdot r_L = F_R \cdot r_R \rightarrow m_L \cdot g \cdot r_L = m_R \cdot g \cdot r_R \rightarrow$
$m_L \cdot r_L = m_R \cdot r_R \rightarrow$
$r_R = 1{,}65 \times 0{,}125 / 2{,}22 = 9{,}29 \cdot 10^{-2}$ m (= 0,0929 m = 9,29 cm)
Zie figuur 18.1. Noem de scharnierkracht F_S.

b $F_S = F_L + F_R + F_z = 16{,}19 + 21{,}78 + 1{,}962 = 39{,}9$ N

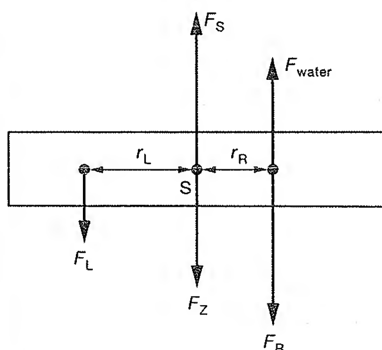
c De hefboom gaat tegen de wijzers van de klok in draaien. De massa links geeft ook een draaiing tegen de wijzers van de klok in, dus door links een kleinere massa te plaatsen kan de hefboom weer in evenwicht komen.

d $F_L \cdot r_L = F_R \cdot r_R \rightarrow F_{z,L} \cdot r_L = F_R \cdot r_R \rightarrow$
$1{,}13 \times 9{,}81 \times 0{,}125 = F_R \times 9{,}29 \cdot 10^{-2} \rightarrow F_R = 14{,}92$ N
$F_R = F_{z,R} - F_{water} \rightarrow 14{,}92 = 2{,}22 \times 9{,}81 - F_{water} \rightarrow$
$F_{water} = 6{,}86$ N
Zie figuur 18.2.

e $F_S = F_L + F_R + F_z = 11{,}09 + 14{,}92 + 1{,}962 = 28{,}0$ N



18.1



18.2

B 10

In beide ontwerpen moet de arm van de spierkracht groot zijn.

B 11

In alle gevallen is de arm van de spierkracht veel groter dan de arm van de hefkracht zodat de spierkracht zelf veel kleiner kan zijn dan de hefkracht.

A 12

Om weer te kunnen balanceren moet je de vinger dichter bij het vlakgom houden.

18.3 Het zwaartepunt

A 13

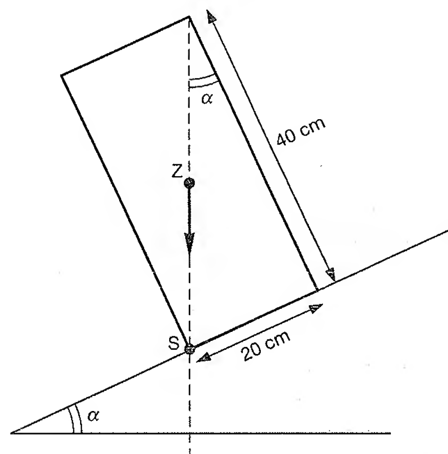
a Z valt samen met het middelpunt.
b Z gaat onder de lat door.
c Z valt samen met het middelpunt.
d Z ligt in elk geval op de spiegellijn. Hang de beer aan een willekeurig ander punt op. Het snijpunt van de verticale lijn door dat punt en de spiegellijn is Z.

A 14

In figuur 18.19a in het boek is sprake van stabiel evenwicht omdat het zwaartepunt *onder* het draaipunt ligt. In figuur 18.19b is sprake van labiel evenwicht omdat het zwaartepunt *boven* het draaipunt ligt.

B 15

a Het zwaartepunt Z komt net boven het draaipunt S te liggen.
b Zie figuur 18.3. Z ligt midden in de doos 20 cm boven de bodem. Aflezen: hellingshoek $\alpha = 26°$.
Of: $\tan \alpha = 20 / 40 = 0{,}50 \rightarrow \alpha = 26°$
c Z ligt nu lager in vergelijking met een volle doos. De hoek waarbij Z verticaal boven S komt te liggen, is groter. Dus kantelt de doos bij een veel grotere hellingshoek.



18.3

C 16

a Het zwaartepunt komt steeds dichter bij de bodem van de emmer te liggen totdat al het water is weggelopen. Dan ligt Z weer een stukje hoger.
b De emmer met water is op te vatten als een steeds langer wordende slinger. Dus de slingertijd wordt groter. Als de emmer leeg is, is de slinger opeens weer een stuk korter. Dan wordt de slingertijd opeens kleiner.

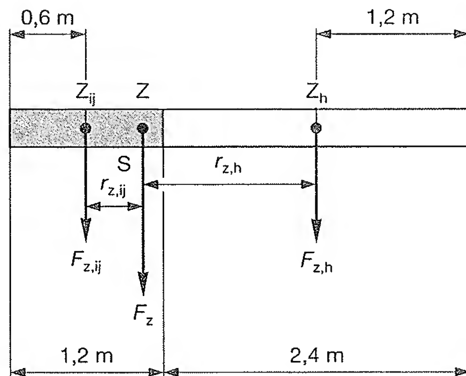
B 17

Als de grijparm dichter naar de heftruck wordt bewogen, verplaatst het zwaartepunt zich naar de achterbanden toe. Deze worden dan meer ingedrukt en de voorbanden minder.

C 18

a ▸binas tabel 8: $\rho_{ijzer} = 7{,}87 \cdot 10^3$ kg/m³
$m_{ij} = \rho_{ij} \cdot V_{ij} = 7{,}87 \cdot 10^3 \times (0{,}040 \times 1{,}2) = 3{,}8 \cdot 10^2$ kg

b (▸**binas**) tabel 10: $\rho_{hout} = 0{,}58 \cdot 10^3$ kg/m³
$F_{z,h} = m_h \cdot g = \rho_h \cdot V_h \cdot g = 0{,}58 \cdot 10^3 \times (0{,}040 \times 2{,}4) \times 9{,}81 = 5{,}5 \cdot 10^2$ N
c De gevraagde afstand is 1,8 m. Zie figuur 18.4. NB De plaats van het zwaartepunt Z is in figuur 18.4 nog niet juist getekend. De juiste plaats blijkt pas bij vraag g.
d De werklijn van de totale zwaartekracht gaat door het scharnierpunt S.
e $F_{sch} = F_{z,tot} = F_{z,ij} + F_{z,h} = 3{,}778 \cdot 10^2 \times 9{,}81 + 5{,}462 \cdot 10^2 = 3{,}71 \cdot 10^3 + 0{,}5462 \cdot 10^3 = 4{,}25 \cdot 10^3$ N
f $F_{z,ij} \cdot r_{z,ij} = F_{z,h} \cdot r_{z,h} \rightarrow r_{z,ij} : r_{z,h} = 0{,}5462 \cdot 10^3 : 3{,}71 \cdot 10^3 = 1 : 6{,}79$
g Uit vraag c volgt: $r_{z,ij} + r_{z,h} = 1{,}8 \rightarrow r_{z,ij} + 6{,}79 \cdot r_{z,ij} = 1{,}8 \rightarrow r_{z,ij} = 1{,}8 / 7{,}79 = 0{,}23$ m
Het zwaartepunt ligt op 0,60 + 0,23 = 0,83 m vanaf het linkeruiteinde van figuur 18.4.



18.4

B 19

a Nee, de afstand die elk punt van het blok valt, is 80 m.
b $E_{z,boven} = m \cdot g \cdot h = 500 \times 9{,}81 \times 80 = 3{,}9 \cdot 10^5$ J
$E_{z,grond} = 0 \rightarrow$ afname $E_z = 3{,}9 \cdot 10^5$ J
c Ja, het bovenste laagje water 'valt' 60 cm, het onderste laagje valt niet en alles er tussenin 'valt' minder dan 60 cm.
d $m_w = \rho_w \cdot V_w = 0{,}998 \cdot 10^3 \times (0{,}80 \times 0{,}60 \times 2{,}10) = 1{,}006 \cdot 10^3$ kg. De hoogte is de hoogte van Z.
$\Delta E_z = 0 - m \cdot g \cdot h = -1{,}006 \cdot 10^3 \times 9{,}81 \times 0{,}30 = -3{,}0 \cdot 10^3$ J

B 20

Kijk op de (▸**site**).

18.4 Evenwichtsvoorwaarden

A 21

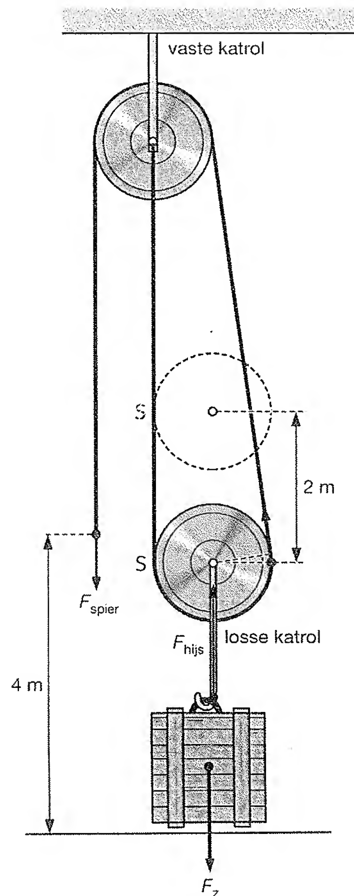
$M_z = F_z \cdot r = (m \cdot g) \cdot r = (7{,}7 \times 9{,}81) \times 1{,}2 = 91$ N·m

A 22

a $M_{duiker} = F_{duiker} \cdot r_{duiker} = (65 \times 9{,}81) \times 3{,}1 = 2{,}0 \cdot 10^3$ N·m
b De duikplank is een hefboom. De hefboomwet geldt: het duikermoment rechtsom is gelijk aan het veermoment linksom.
Met $r_{veer} = 4{,}2 - 3{,}1 = 1{,}1$ m $\rightarrow$
$F_{duiker} \cdot r_{duiker} = F_{veer} \cdot r_{veer} \rightarrow$
$1{,}98 \cdot 10^3 = F_{veer} \times 1{,}1 \rightarrow F_{veer} = 1{,}8 \cdot 10^3$ N

B 23

a Gelijkmatig ophijsen $\rightarrow$ eenparige beweging $\rightarrow F_{res} = 0$
$F_{spier} = F_z = m \cdot g = 55 \times 9{,}81 = 5{,}4 \cdot 10^2$ N
b Zie figuur 18.5.
c Met een vaste katrol kan een spierkracht van richting veranderen.
d $M_{p+k} = F_{z,p+k} \cdot r_p = m_{p+k} \cdot g \cdot r_p = (375 + 3{,}2) \times 9{,}81 \times 0{,}21 = 7{,}8 \cdot 10^2$ N·m
e Losse katrol $\rightarrow r_{spier} = 0{,}42$ m
Hefboomwet: $M_{spier} = M_{p+k} \rightarrow F_{spier} \cdot r_{spier} = M_{p+k} \rightarrow$
$F_{spier} \times 0{,}42 = 7{,}7913 \cdot 10^2 \rightarrow F_{spier} = 1{,}9 \cdot 10^2$ N
f Zwaartekracht
g Klopt
h Klopt ongeveer



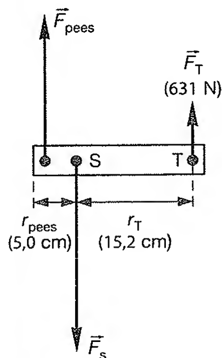
18.5

B 24

$M_1 = F_1 \cdot r_1 = 30 \times 2{,}0 = 60$ N·m
$M_2 = F_2 \cdot r_2 = 20 \times (2{,}0 \times \sin 30) = 20$ N·m
$M_3 = F_3 \cdot r_3 = 10 \times 0 = 0$ N·m
$M_4 = F_4 \cdot r_4 = 10 \times 1{,}0 = 10$ N·m

B 25

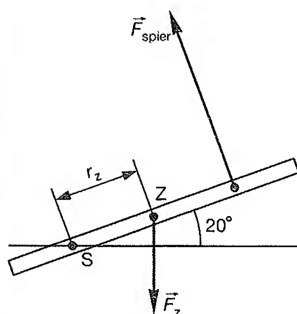
a Zie figuur 18.6.
b $M_1 + M_2 = 0 \rightarrow -0{,}050 \times F_{pees} + 0{,}152 \times 631 = 0 \rightarrow$
$F_{pees} = 1{,}9 \cdot 10^3$ N (verticaal omhoog)
c Positieve richting omhoog: $\Sigma F_{ver} = 0 \rightarrow$
$1918 + 631 + F_s = 0 \rightarrow F_S = -2{,}5 \cdot 10^3$ N



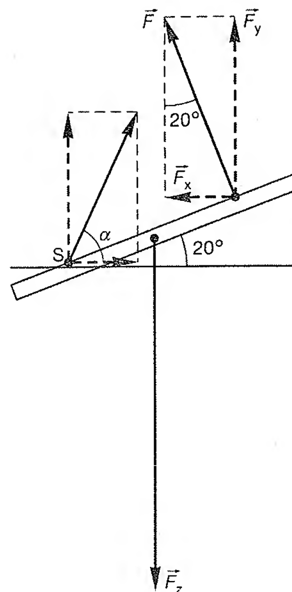
18.6

C 26

a Vanaf S tot het paaltje: 2,6 m en vanaf S tot Z: 1,3 m
$F_z = m \cdot g = 9{,}4 \times 9{,}81 = 92{,}21$ N
$M_1 + M_2 = 0 \rightarrow -1{,}3 \times 92{,}21 + 2{,}6 \times F_{paaltje} = 0 \rightarrow$
$F_{paaltje} = 46$ N
b Het zwaartepunt verplaatst zich van horizontaal naar verticaal over 1,30 m.
Toename $E_z = m \cdot g \cdot h = 9{,}4 \times 9{,}81 \times 1{,}30 = 1{,}2 \cdot 10^2$ J
c Zie figuur 18.7.
$r_{spier} = 2{,}2$ m en $r_z = 1{,}3 \times \cos 20 = 1{,}22$ m
$M_1 + M_2 = 0 \rightarrow 2{,}2 \times F_{spier} - 1{,}22 \times 92{,}21 = 0 \rightarrow F_{spier} = 51$ N
d Zie figuur 18.8. Er geldt: $\Sigma F_{vert} = 0$ en $\Sigma F_{hor} = 0$.
F_{spier} ontbinden in horizontale richting:
$F_{spier,hor} = F_{spier} \times \sin 20 = 17{,}49$ N
F_{spier} ontbinden in verticale richting:
$F_{spier,vert} = F_{spier} \times \cos 20 = 48{,}05$ N.
Er is ook $F_z = 92{,}21$ N. Dus totaal:
$\Sigma F_{hor} = 17{,}49$ N (naar links) en $\Sigma F_{vert} = 44{,}16$ N (naar beneden).
De kracht F_S in S moet deze twee opheffen.
Met Pythagoras: $F_S = \sqrt{17{,}49^2 + 44{,}16^2} = 47$ N (naar rechtsboven)
F_s maakt hoek α met horizontaal. Voor α geldt:
$\tan \alpha = 44{,}16 / 17{,}49 = 2{,}525 \rightarrow \alpha = 68°$



18.7



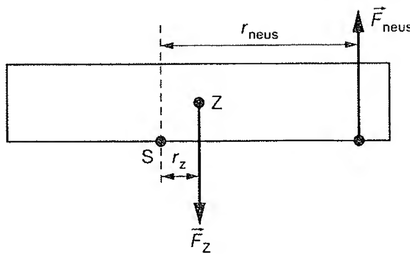
18.8

B 27

a $r_{spier} = 0{,}60 \times \sin 9{,}3 = 0{,}0970$ m
$M_1 + M_2 = 0 \rightarrow 0{,}20 \times F_z - 0{,}0970 \times 900 = 0 \rightarrow$
$F_z = 436{,}5$ N
$m = F_z / g = 436{,}5 / 9{,}81 = 44$ kg
b $F_{spier,hor} = 900 \times \cos 9{,}3 = 8{,}9 \cdot 10^2$ N
$F_{spier,vert} = 900 \times \sin 9{,}3 = 1{,}5 \cdot 10^2$ N
c $\Sigma F_{hor} = 0 \rightarrow$ in S werkt een kracht van 888,2 N naar links
$\Sigma F_{vert} = 0 \rightarrow$ in S werkt een kracht van $437 - 145 = 292$ N naar boven.
Toepassen van Pythagoras:
$F_S = \sqrt{292^2 + 888{,}2^2} = 9{,}3 \cdot 10^2$ N

B 28

a Zie figuur 18.9. Momentenevenwicht: $\Sigma M = 0 \rightarrow$
$F_z \cdot r_z + F_{neus} \cdot r_{neus} = 0 \rightarrow$
$(5{,}0 \cdot 10^4 \times 9{,}81) \times 2{,}0 - F_{neus} \times 12{,}0 = 0 \rightarrow$
$F_{neus} = 8{,}2 \cdot 10^4$ N
b Krachtenevenwicht: $\Sigma F = 0 \rightarrow F_{neus} + F_{bodem} + F_z = 0$
$\rightarrow 8{,}18 \cdot 10^4 + F_{bodem} - 4{,}905 \cdot 10^5 = 0 \rightarrow F_{bodem} = 4{,}1 \cdot 10^5$ N
c Er komt een steeds groter wordend liftmoment dat het vliegtuig om het scharnierpunt tegen de wijzers van de klok in laat draaien. De neuskracht wordt steeds kleiner en zal op een gegeven moment nul worden $\rightarrow$ het neuswiel komt los van de grond.
d Momentenevenwicht: $\Sigma M = 0 \rightarrow$
$F_z \cdot r_z + F_{lift} \cdot r_{lift} = 0 \rightarrow$
$(5{,}0 \cdot 10^4 \times 9{,}81) \times 2{,}0 - F_{lift} \times 3{,}0 = 0 \rightarrow F_{lift} = 3{,}3 \cdot 10^5$ N
e Krachtenevenwicht: $F_{lift} + F_{bodem} + F_z = 0 \rightarrow$
$3{,}27 \cdot 10^5 + F_{bodem} - 4{,}905 \cdot 10^5 = 0 \rightarrow$
$F_{bodem} = 1{,}635 \cdot 10^5$ N
Dit is per band $1{,}635 \cdot 10^5 / 2 = 8{,}2 \cdot 10^4$ N



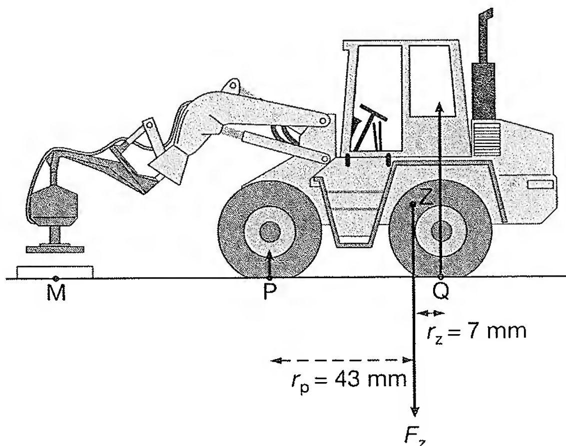
18.9

C 29

a Ten opzichte van Z is er ook evenwicht van momenten van de normaalkrachten in P en Q. Opmeten (zie figuur 18.10):
$r_P = 43$ mm en $r_z = 7$ mm
$F_P \cdot r_P = F_z \cdot r_z \rightarrow F_P = F_z \cdot 7 / 43$
De pijllengte van de zwaartekracht is 55 mm →
lengte $F_P = 55 \times 7 / 43 = 9{,}0$ mm
$F_P + F_Q = F_z \rightarrow$ lengte $F_Q = 55 - 9 = 46$ mm

b $F_{last} \cdot r_{PM} = F_z \cdot r_{ZP} \rightarrow$
$F_{last} = F_z \cdot r_{ZP} / r_{PM} = 13{,}500 \cdot 10^3 \times 9{,}81 \times 2{,}00 / 3{,}00 =$
$9{,}00 \cdot 10^3 \times 9{,}81$ N → maximale last is $9{,}00 \cdot 10^3$ kg

c $p_{buiten} - p_{zuignap} = F_{zuignap} / A_{zuignap}$
$A_{zuignap} = 0{,}60 \times 0{,}85 = 0{,}51$ m² en
$F_{zuignap} = F_z = m \cdot g = 5000 \times 9{,}81 = 4{,}905 \cdot 10^4$ N
$1013 \cdot 10^2 - p_{zuignap} = 4{,}905 \cdot 10^4 / 0{,}51 \rightarrow p_{zuignap} = 5{,}1 \cdot 10^3$ Pa



18.10

C 30

Drie mannen leveren samen een spierkracht van 2400 N. Door de drie losse katrollen betekent dit een 6× zo grote kracht op het linkerdeel van de grote hefboom, dus 14 400 N ($1{,}44 \cdot 10^4$ N). De momenten van de zwaartekracht op beide delen van de hefboom compenseren elkaar. De hefkracht die rechts uitgeoefend kan worden is door de 2× zo grote arm 2× zo klein, dus 7200 N. Daarvan is $30 \times 9{,}8 = 294$ N nodig om het touw met de haak op te tillen. Voor de kracht op de boot blijft $7200 - 294 = 6{,}9$ kN over.

B 31

Dit is een open antwoord ter beoordeling van de docent.

18.5 Overbrenging en arbeid

A 32

a Er is geen wrijving.
b De arbeid die verricht wordt, is constant.
c Snaaroverbrenging, kettingoverbrenging, tandwieloverbrenging, touwoverbrenging (katrol), hefboomoverbrenging.
d Het verzet is de afstand die de fiets aflegt als de trappers eenmaal worden rondgedraaid.

B 33

a $W_{spier} = F_{spier} \cdot s$; als W_{spier} en s gelijk blijven, dan zal F_{spier} ook gelijk blijven.
b Ideale overbrenging, dus de arbeid blijft gelijk. Helling op heb je een grotere afzetkracht nodig, dus de bijbehorende verplaatsing (het verzet) zal kleiner worden.

B 34

Uit figuur 18.49a in het leerboek volgt: $s = 4{,}3$ m.
$F_{spier} = F_z = m \cdot g = 12{,}2 \times 9{,}81 = 120$ N en
$W_{spier} = F_{spier} \cdot s = 120 \times 4{,}3 = 5{,}1 \cdot 10^2$ N·m
Voor figuur 18.49b geldt wegens ideale overbrenging ook
$W_{spier} = 5{,}1 \cdot 10^2$ N·m.
De verplaatsing s is in dit geval $4{,}3 \times \sqrt{2} = 6{,}1$ m.
$F_{spier} = W_{spier} / s = 5{,}15 \cdot 10^2 / 6{,}08 = 85$ N

B 35

a Omtrek = $2\pi r \rightarrow r_A = 0{,}48 / 2\pi = 0{,}0764$ m en
$r_B = 0{,}36 / 2\pi = 0{,}0573$ m
b In 1 s geldt voor A: $s_A = 3{,}2 \times 0{,}48 = 1{,}536$ m
$W_{band\ op\ A} = F_{band\ op\ A} \cdot s_A = 10{,}2 \times 1{,}536 = 16$ N·m per seconde.
c Zelfde as → B voert ook 3,2 omwentelingen per seconde uit.
d Ideale overbrenging → in 1 s:
$W_{B\ op\ band} = W_{band\ op\ A} = 15{,}67$ N·m met
$s_B = 3{,}2 \times 0{,}36 = 1{,}152$ m →
$F_{B\ op\ band} = W_{B\ op\ band} / s_B = 15{,}67 / 1{,}152 = 14$ N

B 36

a $W_2 = F_2 \cdot s = 840 \times 2{,}8 = 2{,}4 \cdot 10^3$ N·m
b Twee losse katrollen, vier touwen →
er wordt $4 \times 2{,}8 = 11$ m touw binnengehaald.
c De verplaatsing is 4× zo groot → De spierkracht F_1 is 4× zo klein als F_2 → $F_1 = 840 / 4 = 210$ N.
d Ten eerste zal er sprake van wrijving kunnen zijn, dan moet ook de wrijvingskracht overwonnen worden. Ten tweede hebben de twee losse katrollen zelf ook massa, dus is er extra zwaartekracht. Dit geeft een extra spierkracht.

B 37

a Nodig $F_{spier} = F_z = m \cdot g = 1{,}4 \cdot 10^3 \times 9{,}81 = 1{,}37 \cdot 10^4$ N
Dat is $1{,}37 \cdot 10^4 / 600 = 23\times$ zo veel als Kamiel kan uitoefenen. Door n losse katrollen te gebruiken wordt de kracht $2n\times$ zo groot overgebracht.
Dus $23 / 2 \rightarrow$ 12 losse en vaste katrollen nodig.
Totaal dus $24 \times 600 = 1{,}44 \cdot 10^4$ N ter beschikking. Totale massa wordt $1{,}4 \cdot 10^3 + 12 \times 3{,}0 = 1436$ kg $\rightarrow$
$F_{z,tot} = 1436 \times 9{,}81 = 1{,}41 \cdot 10^4$ N. Dit kan Kamiel dus ophijsen.

b De hijskracht wordt met een factor 24 verkleind $\rightarrow$
de verplaatsing wordt $24\times$ zo groot $\rightarrow$
hij moet $24 \times 3{,}2 = 77$ m touw inhalen.

C 38

a $E = P \cdot t \rightarrow t = E / P = 2{,}67 \cdot 10^3 / 32 \cdot 10^{-3} = 8{,}34 \cdot 10^4$ s = 23 h

b $P_{zonnecel} = 600 \times 25 \cdot 10^{-4} = 1{,}5$ W; $P_{nut} = 0{,}13 \times 1{,}5 = 0{,}195$ W

c Totale verplaatsing hendel
$s = 200 \times 2\pi r = 200 \times 2\pi \times 0{,}033 = 41{,}5$ m
$F_{spier} = W / s = 230 / 41{,}5 = 5{,}5$ N

d Bij een vaste as gaan klein en groot wiel met het zelfde toerental, bij de snaaroverbrenging zal steeds het toerental $10\times$ zo groot worden.
Hendel 120 toeren per minuut $\rightarrow$
de dynamo maakt $120 \times 10 \times 10 \times 10 = 1{,}2 \cdot 10^5$ toeren per minuut

A 39

Dit is een open opdracht ter beoordeling van de docent.

19 Radioactiviteit en kernfysica

19.1 Inleiding

A 1

Protonen en neutronen. Ze hebben beide massa. Het proton heeft lading, het neutron niet.

A 2

a De totale massa voor een (scheikundige) reactie is even groot als de totale massa na die reactie.
b De wet van behoud van energie

B 3

a Elke seconde komt $4 \cdot 10^{26}$ J aan stralingsenergie vrij.
b Het gegeven over de energiebehoefte van de mensheid doet niet ter zake.
$E_{zon} = 4 \cdot 10^{26}$ J per s. Dat is per jaar
$(4 \cdot 10^{26} \times 365 \times 24 \times 3600) = 1{,}26 \cdot 10^{33}$ J
Dit is $1{,}26 \cdot 10^{33} / 3{,}6 \cdot 10^{6} = 4 \cdot 10^{27}$ kWh

B 4

a 1,00 eV = $1{,}60 \cdot 10^{-19}$ J
b $E = 2{,}4 \times 1{,}60 \cdot 10^{-19} = 3{,}8 \cdot 10^{-19}$ J
c $E = h \cdot f \rightarrow f = E / h = 3{,}84 \cdot 10^{-19} / 6{,}63 \cdot 10^{-34} = 5{,}8 \cdot 10^{14}$ Hz
d $\lambda = c / f = 3{,}00 \cdot 10^{8} / 5{,}79 \cdot 10^{14} = 5{,}2 \cdot 10^{-7}$ m
e (▸binas) tabel 19A bij $5{,}2 \cdot 10^{-7}$ m = 520 nm: groen

19.2 Radioactiviteit

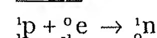
A 5

a Een kerndeeltje
b Een kernsoort
c Tussen protonen werken afstotende elektrische krachten.
d Tussen protonen en neutronen, tussen neutronen en neutronen en tussen protonen en protonen werken aantrekkende kernkrachten. De nucleonen moeten wel erg dicht bij elkaar zijn.

A 6

Het atoomnummer Z is de plaats in het periodiek systeem en is onlosmakelijk verbonden met het element.

A 7



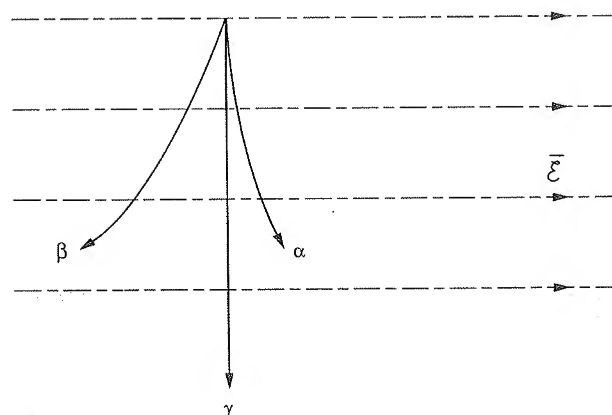
${}^{1}_{1}p + {}^{0}_{-1}e \rightarrow {}^{1}_{0}n$

B 8

a De u is exact 1/12^e^ deel van de massa van het C-12 atoom.
b Isotopen hebben dezelfde Z: ze staan op dezelfde plaats in het periodiek systeem.
c Waterstof of protium, deuterium of zwaar waterstof, tritium of zeer zwaar waterstof
d Proton, deuteron en triton

B 9

Zie figuur 19.1. Het foton (γ) wordt niet afgebogen, het α-deeltje en het β-deeltje in tegengestelde richtingen.
Het α-deeltje heeft een 2× zo grote lading en een circa 7300× zo grote massa als het β-deeltje. Het effect van de massa is veel groter dan het effect van de lading. Het α-deeltje wordt daarom veel minder afgebogen dan het β-deeltje.



19.1

B 10

a Met (▸binas) tabel 25: 75,5% Cl-35 en 24,5% Cl-37. Het gemiddelde massagetal is dan $(0{,}755 \times 34{,}9688 + 0{,}245 \times 36{,}9659) = 35{,}45$. Controle in het periodiek systeem ((▸binas) tabel 99) laat zien dat deze waarde klopt.
b Met (▸binas) tabel 99: $A_{gem} = 58{,}71$
c Hoewel Co eerder in het periodiek systeem staat dan Ni, is het gemiddelde massagetal groter dan dat van Ni. Het periodiek systeem sorteert dus niet op gemiddelde atoommassa.

A 11

a Met (▸binas) tabel 25: β^--deeltje
b ${}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{1}p + {}^{0}_{-1}e$
c Met (▸binas) tabel 25: K-vangst, β^+-deeltje en γ-foton
d ${}^{34}_{17}Cl \rightarrow {}^{0}_{1}e + {}^{34}_{16}S + \gamma$
e Met (▸binas) tabel 25: α-deeltje en γ -foton
f ${}^{210}_{84}Po \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{206}_{82}Pb + \gamma$

B 12

a $E_{tot} = 6{,}25 \cdot 10^4 \times 1{,}60 \cdot 10^{-13} = 1{,}00 \cdot 10^{-8}$ J
b $D = E / m = 1{,}00 \cdot 10^{-8} / 20 \cdot 10^{-3} = 5{,}0 \cdot 10^{-7}$ Gy $= 5{,}0 \cdot 10^{-4}$ mGy
c $H = Q \cdot D = 20 \times 5{,}0 \cdot 10^{-7} = 1{,}0 \cdot 10^{-5}$ Sv $= 1{,}0 \cdot 10^{-2}$ mSv
d Jaardosis is 1 mSv, dus percentage is
$100\% \times 1{,}0 \cdot 10^{-2} / 1 = 1\%$

C 13

a $^{64}_{29}\text{Cu} + ^{0}_{-1}\text{e} \rightarrow ^{64}_{28}\text{Ni}$
b De energie van het elektron in de L-schil is groter dan de energie in de K-schil.
c $E_f = 7{,}90 - 0 = 7{,}90$ keV $= 7{,}90 \cdot 10^3 \times 1{,}60 \cdot 10^{-19} = 1{,}26 \cdot 10^{-15}$ J
d $E_f = h \cdot c / \lambda \rightarrow \lambda = h \cdot c / E_f = 6{,}63 \cdot 10^{-34} \times 3{,}00 \cdot 10^8 / 1{,}26 \cdot 10^{-15} = 1{,}58 \cdot 10^{-10}$ m
e Röntgenstraling
f Overeenkomsten:
– Beide stralingssoorten bestaan uit fotonen.
– Beide zijn ioniserende straling.
Verschillen:
– Röntgenstraling ontstaat aan de buitenkant van het atoom, γ-straling komt vanuit de kern.
– Mensen kunnen een röntgenbuis maken, aanzetten, uitzetten, de frequentie van de straling variëren, enzovoorts; dat kunnen mensen bij een radioactieve bron die γ-straling uitzendt, niet.

19.3 Actieve kernen

A 14

a Het tempo waarin de atomen van de bron vervallen
b Bq
c Het aantal radioactieve kernen N, de activiteit A, de (meet) intensiteit I

B 15

a De maximale afstand die deze deeltjes in een stof kunnen afleggen
b Voor α-deeltjes enkele centimeters, voor β-deeltjes enkele decimeters
c $I(t) = I_0 \cdot (½)^{x/d_{½}}$
d $0{,}0050 \cdot I_0 = I_0 \cdot (½)^{x/1{,}2} \rightarrow (½)^{t/1{,}2} = 0{,}0050 \rightarrow \log (½)^{x/1{,}2} = \log 0{,}0050 \rightarrow$
$x / 1{,}2 = \log 0{,}0050 / \log 0{,}5 \rightarrow x = 9{,}2$ cm

B 16

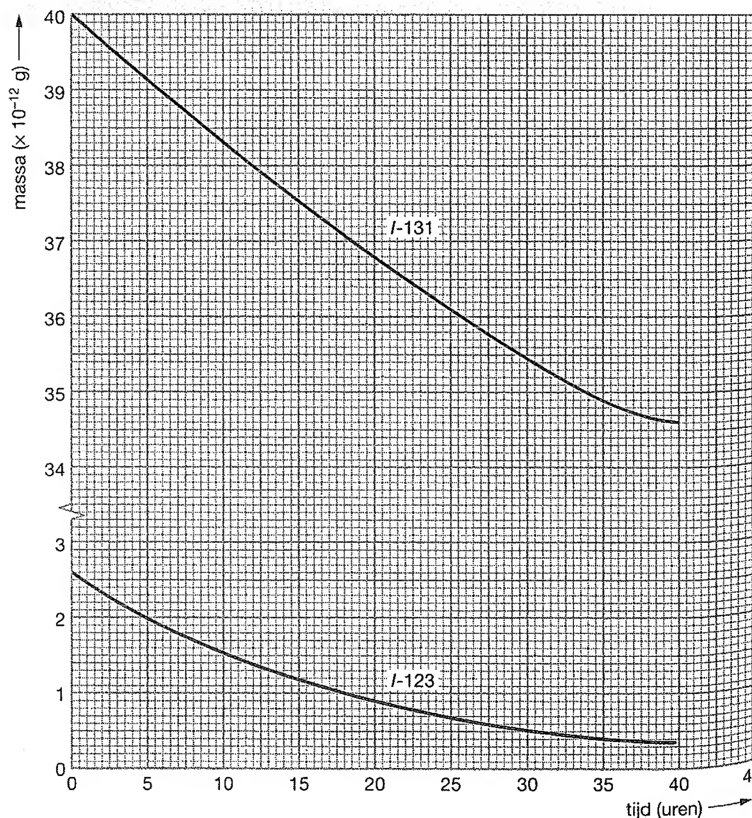
a In 10 s bedraagt de achtergrondstraling $5 / 3 = 1{,}67$ (2 deeltjes).
Ten gevolge van de bron tel je 59 deeltjes in 10 s.
Dit is 5,2% →
Op het venster vallen $59{,}33 / 0{,}052 = 1{,}1 \cdot 10^3$ α-deeltjes.
b Het boloppervlak bedraagt $4\pi \times 5{,}6^2 = 394$ cm². De teller vangt dus $1{,}2 / 394 = 0{,}0030457\%$ op →
In 10 s zendt de bron uit $1141 / 0{,}0030457 = 3{,}7 \cdot 10^5$ deeltjes
$\rightarrow A = 3{,}7 \cdot 10^5 / 10 = 3{,}7 \cdot 10^4$ Bq

C 17

a (▸binas) tabel 25: 5730 jaar
b $^{14}_{6}\text{C} \rightarrow ^{0}_{-1}\text{e} + ^{14}_{7}\text{N}$
c Nog over: $0{,}14 / 0{,}23 = 0{,}61 = 61\%$
Vervallen: $100 - 61 = 39\%$
d De activiteit verloopt hetzelfde als de instabiele moederkernen:
$N(t) = N_0 \cdot (½)^{t/t_{½}}$ met $t_{½} = 5730$ jaar en $N(t) = 0{,}61 \cdot N_0$, dus ook
$A(t) = A_0 \cdot (½)^{t/t_{½}}$ met $t_{½} = 5730$ jaar en $A(t) = 0{,}61 \cdot A_0 \rightarrow$
$0{,}61 = 0{,}5^{t/5730} \rightarrow \log 0{,}5^{t/5730} = \log 0{,}61 \rightarrow$
$t / 5730 = \log 0{,}61 / \log 0{,}5 = 0{,}71 \rightarrow t = 4{,}1 \cdot 10^3$ jaar

C 18

a Halveringstijd I-123: 0,55 dag; halveringstijd I-131: 8,0 dag
b Zie figuur 19.2.
c Bij hetzelfde aantal kernen is de halveringstijd van I-123 circa 15× kleiner dan die van I-131. Dan heb je bij dezelfde beginactiviteit 15× zo weinig nodig.
d De steilheid is even groot en stelt de (negatieve) activiteit voor.
e Na 5,0 h is nog $39{,}4 \cdot 10^{-12}$ g over →
er is $4{,}0 \cdot 10^{-11} - 39{,}4 \cdot 10^{-12} = 6{,}0 \cdot 10^{-13}$ g vervallen.
f Na 5,0 h is nog $2{,}0 \cdot 10^{-12}$ g over; er is dus
$2{,}6 \cdot 10^{-12} - 2{,}0 \cdot 10^{-12} = 6{,}0 \cdot 10^{-13}$ g vervallen.
g Na 5 h is er bij gebruik van I-123 20× zo weinig radioactief jood over in het lichaam.
Bovendien hebben de fotonen van I-123 minder dan de helft van de energie die de fotonen bij verval van I-131 krijgen.



19.2

C 19

a ${}^{59}_{26}\text{Fe} \rightarrow {}^{0}_{-1}\text{e} + {}^{59}_{27}\text{Co} + \gamma$

b Per vervallen kern één β-deeltje;
Aantal β-deeltjes per seconde = $4{,}18 \cdot 10^{10} + 5{,}66 \cdot 10^{8} = 4{,}24 \cdot 10^{10}$

c Omdat A en N recht evenredig zijn, geldt ook:
$A(t) = A_0 \cdot (1/2)^{t/t_{1/2}}$ met $t_{1/2} = 45$ dag; $t = 2{,}5$ dag en $A_0 = 5{,}66 \cdot 10^{8}$ Bq
$A(2{,}5) = 5{,}66 \cdot 10^{8} \times 0{,}5^{2{,}5/45} = 5{,}4 \cdot 10^{8}$ Bq

d Gebruik $A(t) = A_0 \cdot (1/2)^{t/t_{1/2}}$ met $t_{1/2} = 2{,}57$ h;
$t = 2{,}5 \times 24 = 60$ h en $A_0 = 4{,}18 \cdot 10^{10}$ Bq
$A(2{,}5) = 4{,}18 \cdot 10^{10} \times 0{,}5^{60/2{,}57} = 3{,}9 \cdot 10^{3}$ Bq
Dit is minder dan 0,1% van $5{,}4 \cdot 10^{8}$ (= $5{,}4 \cdot 10^{5}$ Bq)

B 20

a $A(t) = N(t) \cdot \dfrac{\ln 2}{t_{1/2}}$

$\rightarrow 6{,}6 \cdot 10^{5} = N(0) \cdot \dfrac{\ln 2}{9{,}97 \times 60} \quad \rightarrow N(0) = 5{,}7 \cdot 10^{8}$

b $A(t) = A(0) \cdot (1/2)^{t/t_{1/2}} \rightarrow A(t) = 6{,}6 \cdot 10^{5} \times 0{,}5^{2{,}5} = 1{,}4 \cdot 10^{5}$ Bq

B 21

a 92 protonen en 144 neutronen

b $92 \times 1{,}007276 + 144 \times 1{,}008665 = 237{,}91715$ u

c Met (▸binas) tabel 25: $m_{U\text{-}236} = 236{,}04564$ u

d Kernmassa = atoommassa – elektronenmassa = 236,04564 $- 92 \times 0{,}000549 = 235{,}99513$ u

e $237{,}91715 - 235{,}99513 = 1{,}92202$ u

f De tweede manier (vraag d) want de kern en de elektronen zijn twee aparte delen van het atoom.

B 22

Kijk op de (▸site).

19.4 Energie en massa

A 23

a Bindingsenergie en massadefect kunnen in elkaar worden omgezet; ze zijn equivalent. Hun getalswaarden verschillen een factor c^2. De bindingsenergie heeft meestal als eenheid J of (M)eV. Het massadefect wordt in kg of u uitgedrukt.

b Nee, defect betekent hier niet 'kapot', maar 'ontbrekend' of 'missend'.

c 1 u (exact) = $1{,}66054 \cdot 10^{-27}$ kg. Dan geldt:
$E_{\text{binding}} = m \cdot c^2 = 1{,}66054 \cdot 10^{-27} \times (2{,}997924 \cdot 10^{8})^2 = 1{,}492 \cdot 10^{-10}$ J →
$E_{\text{binding}} = 1{,}492 \cdot 10^{-10} / 1{,}60217 \cdot 10^{-19}$ eV $= 9{,}315 \cdot 10^{8}$ eV = 931,5 MeV. Volgens (▸binas) tabel 7: 1 u ≙ 931,49 MeV, dus het antwoord (of (▸binas) tabel 7) klopt.

A 24

a $E_{\text{binding}} = m \cdot c^2 = 1{,}57 \cdot 10^{-29} \times (3{,}00 \cdot 10^{8})^2 = 1{,}41 \cdot 10^{-12}$ J →
$E_{\text{binding}} = 1{,}41 \cdot 10^{-12} / 1{,}60 \cdot 10^{-19} = 8{,}83 \cdot 10^{6}$ eV = 8,83 MeV

b $E_{\text{binding}} = 148 \cdot 10^{6} \times 1{,}60 \cdot 10^{-19} = 2{,}368 \cdot 10^{-11}$ J →
$m = 2{,}368 \cdot 10^{-11} / (3{,}00 \cdot 10^{8})^2 = 2{,}63 \cdot 10^{-28}$ kg

c $E_{\text{binding per nucleon}} = 148 / 19 = 7{,}79$ MeV per nucleon
Volgens figuur 19.15 uit het leerboek:
$E_{\text{binding per nucleon}} = 7{,}8$ MeV per nucleon; dus dat klopt.

B 25

a Het deeltje is dan bijzonder stabiel.

b De combinatie van vier nucleonen in een kern is zeer stabiel. Deze kerndeeltjes hebben geen andere kerndeeltjes nodig en vormen als het ware een (positief geladen) groepje binnen de (positief geladen) kern.

A 26

a ${}^{1}_{1}\text{p} \rightarrow {}^{0}_{1}\text{e} + {}^{1}_{0}\text{n}$

b (kernen) ${}^{11}_{6}\text{C} \rightarrow {}^{0}_{1}\text{e} + {}^{11}_{5}\text{B}$, dus
(atomen) ${}^{11}_{6}\text{C} \rightarrow {}^{0}_{1}\text{e} + {}^{11}_{5}\text{B} + {}^{0}_{-1}\text{e}$
Uit (▸binas) tabel 25:
Massa vóór = 11,011433 u
Uit (▸binas) tabel 7 en 25:
Massa ná = 0,00054858 + 11,009305 + 0,00054858 = 11,010402 u
Massadefect $\Delta m = 11{,}011433 - 11{,}010402 = 0{,}001031$ u

c (▸binas) tabel 7: massadefect Δm ≙ $0{,}001031 \times 931{,}49$ = 0,960 MeV; ongeveer gelijk (0,95 MeV)

d ${}^{11}_{6}\text{C} + {}^{0}_{-1}\text{e} \rightarrow {}^{11}_{5}\text{B}$ (kernen)
Links en rechts 5 elektronmassa's erbij →
${}^{11}_{6}\text{C} \rightarrow {}^{11}_{5}\text{B}$ (atomen)
$\Delta m = 11{,}011433 - 11{,}009305 = 0{,}002128$ u

e (▸binas) tabel 7: Δm ≙ $0{,}002128 \times 931{,}49 = 1{,}982$ MeV

f In bewegingsenergie van de boriumkern

B 27

a ${}^{210}_{84}\text{Po} \rightarrow {}^{206}_{82}\text{Pb} + {}^{4}_{2}\text{He}$ (kernen en atomen)
$\Delta m = 209{,}98288 - 205{,}97446 - 4{,}002603 = 0{,}005817$ u.
Met (▸binas) tabel 7: Δm ≙ $0{,}005817 \times 931{,}5 = 5{,}42$ MeV
${}^{32}_{15}\text{P} \rightarrow {}^{32}_{16}\text{S} + {}^{0}_{-1}\text{e}$ (kernen) $\rightarrow {}^{32}_{15}\text{P} \rightarrow {}^{32}_{16}\text{S}$ (atomen)
$\Delta m = 31{,}97391 - 31{,}97207 = 0{,}00184$ u →
Met (▸binas) tabel 7: Δm ≙ $0{,}00184 \times 931{,}5 = 1{,}71$ MeV
${}^{34}_{17}\text{Cl} \rightarrow {}^{34}_{16}\text{S} + {}^{0}_{1}\text{e}$ (kernen) →
${}^{34}_{17}\text{Cl} \rightarrow {}^{34}_{16}\text{S} + {}^{0}_{1}\text{e} + {}^{0}_{-1}\text{e}$ (atomen)
$\Delta m = 33{,}97375 - 33{,}96787 - 0{,}00054858 - 0{,}00054858 = 0{,}00478$ u
Met (▸binas) tabel 6: Δm ≙ $0{,}00478 \times 931{,}5 = 4{,}46$ MeV

b Respectievelijk 5,298 MeV, 1,72 MeV en 4,5 MeV

c Dit is een open antwoord ter beoordeling van de docent.

B 28

a ${}^{131}_{53}\text{I} \rightarrow {}^{0}_{-1}\text{e} + {}^{131}_{54}\text{Xe}$

b ${}^{8}_{4}\text{Be} \rightarrow {}^{4}_{2}\text{He} + {}^{4}_{2}\text{He}$

c ${}^{10}_{6}\text{C} \rightarrow {}^{0}_{1}\text{e} + {}^{10}_{5}\text{B}$

d ${}^{81}_{36}\text{Kr} + {}^{0}_{-1}\text{e} \rightarrow {}^{81}_{35}\text{Br}$

C 29

a ${}^{213}_{84}\text{Po} \rightarrow {}^{4}_{2}\text{He} + {}^{209}_{82}\text{Pb}$ (kernen en atomen)
$\Delta m = 212{,}99283 - 208{,}98108 - 4{,}002603 = 0{,}00915$ u

b E ≙ $\Delta m = 0{,}00915$ u $\rightarrow E = 0{,}00915 \times 931{,}5 = 8{,}52$ MeV

c $E_k = 1/2 m \cdot v^2 = 8{,}3 \cdot 10^{6} \times 1{,}60 \cdot 10^{-19}$ J →
$v^2 = 2 \times 8{,}3 \cdot 10^{6} \times 1{,}60 \cdot 10^{-19} / 6{,}67 \cdot 10^{-27} \rightarrow v = 2{,}0 \cdot 10^{7}$ m/s

19.5 Kernreacties

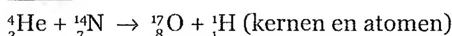
A 30

Het deeltje krijgt altijd kinetische energie die er eerst niet was, dus moet er massa zijn omgezet.

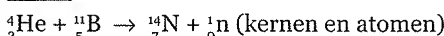
B 31

a Het percentage stikstof in lucht is 78%, dus is de kans vrij groot dat er een stikstofatoom wordt getroffen.
b Het stikstofatoom is niet geladen. Bovendien ioniseert het niet.
c Alleen in de stikstofkern zal een verandering optreden: 1 proton meer. Het aantal elektronen om deze kern verandert niet. Dus is de ontstane isotoop een ion.

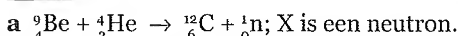
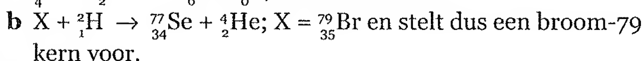
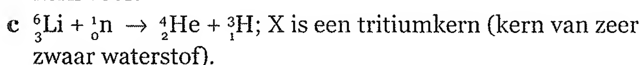
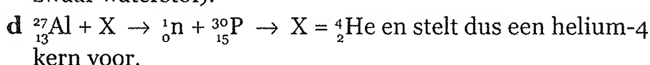
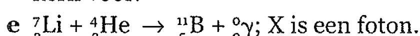
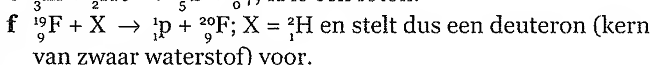
B 32


$^{4}_{2}He + ^{14}_{7}N \rightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}H$ (kernen en atomen)
$Massa_{vóór} = 4{,}002603 + 14{,}00307 = 18{,}00567$ u
$Massa_{na} = 16{,}99913 + 1{,}007825 = 18{,}00696$ u
Massawinst $\Delta m = 18{,}00696 - 18{,}00567 = 1{,}282 \cdot 10^{-3}$ u

B 33


$^{4}_{2}He + ^{11}_{5}B \rightarrow ^{14}_{7}N + ^{1}_{0}n$ (kernen en atomen)
$Massa_{vóór} = 4{,}002603 + 11{,}009305 = 15{,}01191$ u
$Massa_{na} = 14{,}00307 + 1{,}008665 = 15{,}01174$ u
Massaverlies $\Delta m = 15{,}01191 - 15{,}01174 = 1{,}73 \cdot 10^{-4}$ u $\rightarrow$
$E \triangleq \Delta m = 1{,}73 \cdot 10^{-4}$ u $\rightarrow$
$E = 1{,}73 \cdot 10^{-4} \times 931{,}49 = 0{,}161$ MeV

B 34


a $^{9}_{4}Be + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{12}_{6}C + ^{1}_{0}n$; X is een neutron.

b $X + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{77}_{34}Se + ^{4}_{2}He$; $X = ^{79}_{35}Br$ en stelt dus een broom-79 kern voor.

c $^{6}_{3}Li + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{3}_{1}H$; X is een tritiumkern (kern van zeer zwaar waterstof).

d $^{27}_{13}Al + X \rightarrow ^{1}_{0}n + ^{30}_{15}P \rightarrow X = ^{4}_{2}He$ en stelt dus een helium-4 kern voor.

e $^{7}_{3}Li + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{11}_{5}B + ^{0}_{0}\gamma$; X is een foton.

f $^{19}_{9}F + X \rightarrow ^{1}_{1}p + ^{20}_{9}F$; $X = ^{2}_{1}H$ en stelt dus een deuteron (kern van zwaar waterstof) voor.

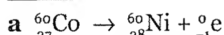
B 35

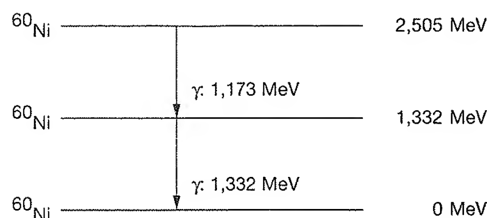
Bij positronstraling verandert een proton in een neutron en een positron. Het aantal neutronen neemt met één toe en het aantal protonen neemt met één af. Het neutronenoverschot neemt dus met twee toe.

C 36

a Deze bindingsenergie is de ionisatie-energie, dus $22 \cdot 10^{-19}$ J.
b Massa H-atoom = 1,007825 u;
Massa proton + elektron = 1,007276 u + 0,00054858 u = 1,00782458 u
Het verschil is $1{,}007825 - 1{,}00782458 = 4{,}200 \cdot 10^{-7}$ u

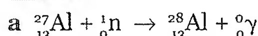
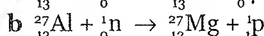
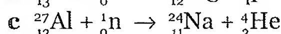
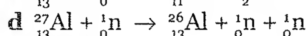
C 37


a $^{60}_{27}Co \rightarrow ^{60}_{28}Ni + ^{0}_{-1}e$
b Zie figuur 19.3. De twee gammafotonen zijn met γ aangeduid.

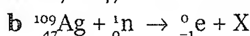


19.3

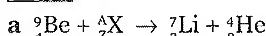
B 38


a $^{27}_{13}Al + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{28}_{13}Al + ^{0}_{0}\gamma$

b $^{27}_{13}Al + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{27}_{12}Mg + ^{1}_{1}p$

c $^{27}_{13}Al + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{24}_{11}Na + ^{4}_{2}He$

d $^{27}_{13}Al + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{26}_{13}Al + ^{1}_{0}n + ^{1}_{0}n$

B 39

a 107 – 47 = 60 neutronen

b $^{109}_{47}Ag + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{0}_{-1}e + X$
$109 + 1 = 0 + A \rightarrow A = 110$
$47 + 0 = -1 + Z \rightarrow Z = 48 \rightarrow$
Er ontstaat $^{110}_{48}Cd$.
In woorden: door het invangen van een neutron neemt het aantal nucleonen met 1 toe: $A = 110$. Door het uitzenden van een β-deeltje verandert A niet, maar neemt wel het aantal protonen met 1 toe: $Z = 48$. $\rightarrow$
Er ontstaat $^{110}_{48}Cd$.

C 40


a $^{9}_{4}Be + ^{A}_{Z}X \rightarrow ^{7}_{3}Li + ^{4}_{2}He$
$9 + A = 7 + 3 \rightarrow A = 2$
$4 + Z = 3 + 2 \rightarrow Z = 1$
$\rightarrow X = ^{2}_{1}H$
b Energie na: 3,2 + 6,5 = 9,7 MeV
Energie voor: 2,5 MeV
De energie neemt dus toe met 7,2 MeV.
c Massaverschil $\Delta m \triangleq E = 7{,}2$ MeV $\rightarrow \Delta m = 7{,}2 / 931{,}49 = 7{,}7 \cdot 10^{-3}$ u
d Nee, want tegenover één voltreffer die een energiewinst van 7,2 MeV oplevert, staan misschien 100 missers à 2,5 MeV = 250 MeV. Dat is niet rendabel.

19.6 Kernsplijting

A 41

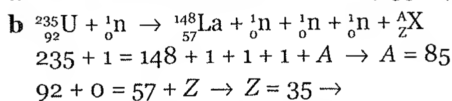
a $E_{binding} = 8{,}10 \times 180 = 1{,}46 \cdot 10^{3}$ MeV
b $E_{binding} = 8{,}90 \times 60 + 8{,}6 \times 120 = 1{,}57 \cdot 10^{3}$ MeV
c $E_{vrij} = 1566 - 1458 = 108$ MeV

A 42

a De vermenigvuldigingsfactor is een getal dat aangeeft hoeveel maal zo groot het aantal langzame neutronen is dat bij een aantal splijtingen vrijkomt in vergelijking met het aantal langzame neutronen dat deze splijtingen veroorzaakte.
b $k = 60 / 100 = 0{,}60$
c Voorafgaande reactie bij dezelfde k:
$k = 100 / N \rightarrow N = 100 / 0{,}60 = 1{,}7 \cdot 10^{2}$ neutronen

B 43

a Neutronenoverschot = $N - Z = (235 - 92) - 92 = 50$

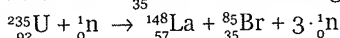


b ${}^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{148}_{57}La + {}^{1}_{0}n + {}^{1}_{0}n + {}^{1}_{0}n + {}^{A}_{Z}X$

$235 + 1 = 148 + 1 + 1 + 1 + A \rightarrow A = 85$

$92 + 0 = 57 + Z \rightarrow Z = 35 \rightarrow$

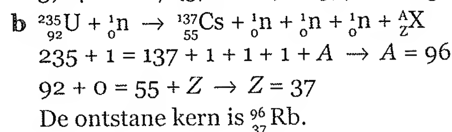
Er ontstaat ${}^{85}_{35}Br$. De reactievergelijking wordt:



${}^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{148}_{57}La + {}^{85}_{35}Br + 3 \cdot {}^{1}_{0}n$

B 44

a $E_{winst} = 1{,}9 \cdot 10^8 \times 1{,}60 \cdot 10^{-19} = 3{,}04 \cdot 10^{-11}$ J $\rightarrow E_{winst} \triangleq \Delta m =$ $3{,}040 \cdot 10^{-11} / (3{,}00 \cdot 10^8)^2 = 3{,}4 \cdot 10^{-28}$ kg



b ${}^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{137}_{55}Cs + {}^{1}_{0}n + {}^{1}_{0}n + {}^{1}_{0}n + {}^{A}_{Z}X$

$235 + 1 = 137 + 1 + 1 + 1 + A \rightarrow A = 96$

$92 + 0 = 55 + Z \rightarrow Z = 37$

De ontstane kern is ${}^{96}_{37}Rb$.

B 45

$E_k = 0{,}05 \times 1{,}60 \cdot 10^{-19} = 8{,}0 \cdot 10^{-21}$ J $\rightarrow \frac{1}{2} m \cdot v^2 = 8{,}0 \cdot 10^{-21}$ J $\rightarrow$ $v^2 = 2 \times 8{,}0 \cdot 10^{-21} / 1{,}67493 \cdot 10^{-27} \rightarrow v = 3 \cdot 10^3$ m/s

C 46

1,00 mol $\triangleq 6{,}02 \cdot 10^{23}$ kernen, er moet gelden: $2^n = 6{,}02 \cdot 10^{23}$

Neem aan beide kanten de logaritme:

$\log(2^n) = \log(6{,}02 \cdot 10^{23}) \rightarrow n \times \log(2) = 23 + \log 6{,}02 \rightarrow$ $n = 79$

Er zijn 79 'schakels' nodig om 1 mol uranium te splijten.

B 47

Dit is een open antwoord ter beoordeling van de docent.

19.7 Kernreactor

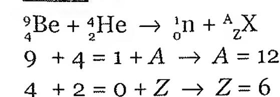
A 48

a De regelstaven moeten iets naar beneden worden gedraaid. Een aantal neutronen wordt 'weggevangen' en veroorzaakt geen splijtingen meer. Het vermogen neemt af. Daarna moeten de regelstaven weer omhoog gedraaid worden om het vermogen op die lagere constante waarde te houden.

b De reactor levert een vermogen dat steeds kleiner wordt. Er is geen gevaar voor kritieke situaties.

c Een moderator zorgt ervoor dat de snelle neutronen worden afgeremd zodat hun energie geschikt is om nieuwe splijtingen te veroorzaken.

B 49



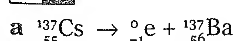
${}^{9}_{4}Be + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{1}_{0}n + {}^{A}_{Z}X$

$9 + 4 = 1 + A \rightarrow A = 12$

$4 + 2 = 0 + Z \rightarrow Z = 6$

De vergelijking wordt: ${}^{9}_{4}Be + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{1}_{0}n + {}^{12}_{6}C$

C 50



a ${}^{137}_{55}Cs \rightarrow {}^{0}_{-1}e + {}^{137}_{56}Ba$

b $N(t) / N_0 = (\frac{1}{2})^{t/35} \rightarrow$

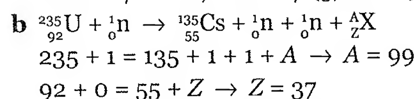
$(\frac{1}{2})^{t/35} = 0{,}10 \rightarrow \log(\frac{1}{2})^{t/35} = \log 0{,}10 \rightarrow$

$t / 35 \times \log(\frac{1}{2}) = -1 \rightarrow t = -35 / \log(\frac{1}{2}) = 1{,}2 \cdot 10^2$ jaar

B 51

a $E = 180$ MeV $= 180 \cdot 10^6 \times 1{,}60 \cdot 10^{-19} = 2{,}88 \cdot 10^{-11}$ J

$\Delta m = E / c^2 = 2{,}88 \cdot 10^{-11} / (3{,}00 \cdot 10^8)^2 = 3{,}21 \cdot 10^{-28}$ kg



b ${}^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{135}_{55}Cs + {}^{1}_{0}n + {}^{1}_{0}n + {}^{A}_{Z}X$

$235 + 1 = 135 + 1 + 1 + A \rightarrow A = 99$

$92 + 0 = 55 + Z \rightarrow Z = 37$

Het andere splijtingsproduct bestaat uit 37 protonen en $99 - 37 = 62$ neutronen.

c $P_{nut} = 830$ MW $\rightarrow P_{kern} = 830 / 0{,}34 = 2{,}441 \cdot 10^3$ MW; dit vermogen (energie per seconde) moeten de splijtingen leveren.

Per splijting komt aan energie vrij:

$E = 180 \cdot 10^6 \times 1{,}60 \cdot 10^{-19} = 2{,}880 \cdot 10^{-11}$ J. Aantal splijtingen per seconde: $P_{kern} / E = 2{,}441 \cdot 10^9 / 2{,}880 \cdot 10^{-11} = 8{,}5 \cdot 10^{19}$

B 52

a De vrijkomende neutronen kunnen op hun beurt splijting van andere kernen veroorzaken.

b Door de kleine omvang ontsnappen veel neutronen uit het uranium. Deze veroorzaken geen splijtingen meer.

B 53

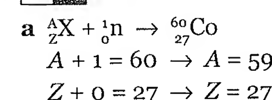
a Voor de splijting $235 + 1 = 236$ kerndeeltjes; na de splijting in ieder geval $141 + 92 = 233$ nucleonen. Dan blijven er 3 neutronen over.

b Kernvermogen = 550 / 0,35 = 1571 MW = 1571 MJ/s

Met (▸binas) tabel 5:

Per jaar: $1571 \cdot 10^6 \times 2{,}8512 \cdot 10^7 = 4{,}5 \cdot 10^{16}$ J

C 54

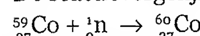


a ${}^{A}_{Z}X + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{60}_{27}Co$

$A + 1 = 60 \rightarrow A = 59$

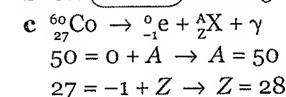
$Z + 0 = 27 \rightarrow Z = 27$

De reactievergelijking wordt dan:



${}^{59}_{27}Co + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{60}_{27}Co$

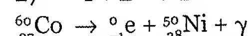
b Uit (▸binas) tabel 25 volgt: $t_{\frac{1}{2}} = 5{,}27$ jaar



c ${}^{60}_{27}Co \rightarrow {}^{0}_{-1}e + {}^{A}_{Z}X + \gamma$

$50 = 0 + A \rightarrow A = 50$

$27 = -1 + Z \rightarrow Z = 28$



${}^{60}_{27}Co \rightarrow {}^{0}_{-1}e + {}^{50}_{28}Ni + \gamma$

d De stralingsintensiteit is recht evenredig met het aantal aanwezige radioactieve kernen.

Er geldt: $N(t) / N_0 = 0{,}002 = (\frac{1}{2})^{t/5{,}27}$.

Logaritme nemen en uitrekenen:

$t / 5{,}27 = \log(0{,}002) / \log(\frac{1}{2}) \rightarrow t = 47$ jaar

e Neutronen kunnen uit atomen protonen vrijmaken en zo de oorzaak zijn van protonstraling. Deze protonen kunnen hun (kinetische) energie aan weefsel afgeven en beschadigingen aanrichten. Ook kunnen neutronen ingevangen worden door bepaalde kernen die vervolgens instabiel worden en ioniserende straling veroorzaken.

C 55

Ter vergelijking: In 1990 levert kernenergie (uranium) circa 5% van het wereldverbruik; fossiele brandstoffen 74% (kolen 20%, olie 38%, gas 16%).

De reserves aan economisch winbare fossiele brandstoffen bedragen 35700 exajoule. (1 exajoule = 10^{18} J)

19.8 Veiligheid en kernenergie

A 56

a Dat er twee beschermende mantels om de reactor gebouwd zijn zodat niets van binnen naar buiten kan lekken.
b Niet alleen het naar buiten lekken wordt bemoeilijkt, maar ook het binnendringen van buitenaf.

A 57

Kernsplijtingsafval

B 58

Temperatuurbeheersing:
- water als moderator; geen brandbare stof zoals koolstof
- dubbel uitvoeren van koeling
- grote warmtecapaciteit centrale

Splijtstofcontrole:
- gebruik van pebbles
- carbidelaag om splijtstofelementen
- dubbele insluiting
- gebruik neutronengiffen

A 59

a Hoge temperatuur gasgekoelde reactor
b Als er iets fout gaat, waardoor de temperatuur toeneemt, zal deze toch nooit de kritieke waarde bereiken.

B 60

$V_{bol} = {}^4/_3\,\pi \cdot r^3 \rightarrow V_{pellet} : V_{grafiet} = r_{pellet}^3 : r_{grafiet}^3 = 0{,}5^3 : 30^3 = 0{,}125 : 27000 = 1 : 2{\cdot}10^5$

B 61

a ${}^A_ZX \rightarrow {}^4_2He + {}^{135}_{54}Xe$
$A = 4 + 135 = 139$ en $Z = 2 + 54 = 56$
$\rightarrow X = {}^{139}_{56}Ba$ volgens (▸binas) tabel 25
De vergelijking wordt:
${}^{139}_{56}Ba \rightarrow {}^4_2He + {}^{135}_{54}Xe$
b ${}^{135}_{54}Xe + {}^1_0n \rightarrow {}^{136}_{54}Xe$
c Voor het opstarten zijn extra neutronen nodig die ingevangen worden door U-235. Het invangen van neutronen door xenon verhindert het op gang komen van het splijtingsproces in de vorm van een explosief verlopende kettingreactie.
d Borium absorbeert ook neutronen zodat het aantal splijtingen per seconde verandert. Dat betekent dat ook het vermogen (dat is de energie per seconde) varieert.
e Een moderator zorgt ervoor dat de snelle neutronen die bij een splijting vrijkomen een lagere snelheid krijgen zodat ze ingevangen kunnen worden in U-235 in plaats van in U-238.
f De halveringstijd van I-131 is 8,0 dagen.
Na 1× de halveringstijd is 50% over, na 2× de halveringstijd 25%, na 3× is 12,5% over, na 4× 6,25%.
Dus: $(½)^n < 0{,}06 \rightarrow \log (½)^n < \log 0{,}06 \rightarrow$
$n < \log 0{,}06 / \log (½) \rightarrow n > 4{,}06$
Dat betekent minimaal $4{,}06 \times 8 = 32{,}5$ dagen, dus van 1 mei tot en met 3 juni.

C 62

a [vermogensdichtheid] = $[P] / [V]$ = W/m³
b $A_{bol} : V_{bol} = 4\pi \cdot r^2 : {}^4/_3\pi \cdot r^3 = 3 : r$
c $A_{kubus} : V_{kubus} = 6 \cdot r^2 : r^3 = 6 : r$
d Je wilt een zo hoog mogelijke verhouding tussen oppervlak en volume. Je neemt dus de kubus.

C 63

a De massa is te berekenen uit de dichtheid (voor glas opzoeken) en het volume; het volume van glas is te berekenen door het totale volume van de cilinder uit te rekenen en daar het volume van het afval vanaf te trekken.
$m = m_g + m_a = \rho_g \cdot V_g + \rho_a \cdot V_a$ met $\rho_g = 2{,}5{\cdot}10^3$ kg/m³
$V_g = V_{cil} - V_a = (\pi \times 0{,}2^2 \times 2) - (8{\cdot}10^{-3}) = 0{,}243$ m³
$m = 2{,}5{\cdot}10^3 \times 0{,}243 + 5{\cdot}10^3 \times 8{\cdot}10^{-3} = 6{,}5{\cdot}10^{-2}$ kg
b $Q = (m \cdot c \cdot \Delta T)_g + (m \cdot c \cdot \Delta T)_a \rightarrow$
$5{\cdot}10^3 \times 3600 = (608 \times 800 + 40 \times 300) \cdot \Delta T \rightarrow \Delta T = 36$ °C
c Er is warmteontwikkeling, dus koelen van de cilinders door er bijvoorbeeld water langs te laten stromen.

C 64

a ${}^{235}_{92}U + {}^1_0n \rightarrow {}^{90}_{38}Sr + 2\,{}^1_0n + {}^A_ZX$
$235 + 1 = 90 + 2 + A \rightarrow A = 236 - 92 = 144$
$92 + 0 = 38 + 0 + Z \rightarrow Z = 92 - 38 = 54$
De vergelijking wordt:
${}^{235}_{92}U + {}^1_0n \rightarrow {}^{90}_{38}Sr + 2\,{}^1_0n + {}^{144}_{54}X$
b $\eta = 100\% \cdot E_{nuttig} / E_{in} = 100\% \cdot E_{el} / E_{kern} = 100\% \cdot P_{el} / P_{kern}$
$E_{kern} = m \cdot c^2 = 0{,}0010 \times 2{,}6{\cdot}10^{-5} \times (3{,}00{\cdot}10^8)^2 = 2{,}34{\cdot}10^9$ J
per seconde = P_{kern}
$\eta = 100\% \cdot P_{el} / P_{kern} = 100\% \times 7{,}4{\cdot}10^8 / 2{,}34{\cdot}10^9 = 32\%$
c $D = E_{straling} / m$
$t = 1{,}00$ jaar $= 3{,}153600{\cdot}10^7$ s ((▸binas) tabel 5)
$E_{straling} = A \cdot t \cdot E_{alfa} = (5{\times}12) \times (3{,}153600{\cdot}10^7) \times (4{,}18{\cdot}10^6 \times 1{,}60{\cdot}10^{-19}) = 1{,}2655{\cdot}10^{-3}$ J
$D = 1{,}2655{\cdot}10^{-3} / 0{,}200 = 6{,}3{\cdot}10^{-3}$ Gy

C 65

a Politieke standpunten veranderen regelmatig, dus nu vindt de politiek ...
b De Franse regering vindt het gebruik van kernenergie een goede zaak.
c Veel kerncentrales, dus weinig centrales met fossiele brandstoffen, dus minder CO_2-uitstoot
d De Deense regering vindt het gebruik van kernenergie geen goede zaak.
e Er moet op een andere manier in de energiebehoefte van het land worden voorzien en de werkgelegenheid in de stad komt in gevaar
f Radioactief afval, bij ongeval gevaar voor grote stukken van het land en buitenland
g Geen luchtvervuiling, geen aantasting fossiele brandstoffen
h Dat is jullie mening, dus hier past geen antwoord van de schrijvers.

19.9 Kernfusie

A 66

- Alle elektronen moeten uit het atoom weg zijn.
- De elektrische afstoting van de kernen moet overwonnen worden.
- De botsingskans moet groot zijn.

A 67

a Combinatie van proton en neutron (kern van een deuteriumatoom, zwaar waterstofkern)
b Uit (▸binas) tabel 25: H-1: nagenoeg 100%; H-2: 0,015%; H-3: veel minder dan 0,015%

A 68

In de kern van deze isotopen werken te kleine kernkrachten of zit een stabiel α-deeltje dat uit de kern verdwijnt waardoor een minder stabiel deeltje overblijft.

B 69

a $^{26}_{13}Al \rightarrow {}^{0}_{1}e + \nu + {}^{A}_{Z}X$
$25 = 0 + A \rightarrow A = 25$
$13 = 1 + Z \rightarrow Z = 12$
De vergelijking wordt: $^{26}_{13}Al \rightarrow {}^{0}_{1}e + \nu + {}^{26}_{12}Mg$
b $^{26}_{13}Al \rightarrow {}^{0}_{1}e + \nu + {}^{26}_{12}Mg + {}^{0}_{-1}e$ (atomen)
Massadefect = 25,98689 − 25,98260 − 0,00054858 − 0,00054858 = $3{,}2 \cdot 10^{-3}$ u →
energiewinst = 0,0032 × 931,49 = 2,97 MeV
Daarvan blijft voor het neutrino 2,97 − 2,54 = 0,43 MeV over.
c Een elektron
d Een antineutrino

B 70

a $^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{5}_{2}He$; dus helium-5
b Deuteron = deuteriumatoom − elektron →
Massa H-2 = 2,01355 u
Tritiumkern = tritiumatoom − elektron →
Massa H-3 = 3,01595 u
α-deeltje = heliumatoom − 2 elektronen →
Massa He-4 = 4,00151 u
Neutron → massa = 1,008665 u
c Fusiereactie, dus massa wordt omgezet in kinetische energie
d $m_{voor} = 5{,}02950$ u; $m_{na} = 5{,}01018$ u →
$\Delta m = 5{,}02950 - 5{,}0102 = 1{,}9325 \cdot 10^{-2}$ u
$E \triangleq \Delta m = 1{,}9325 \cdot 10^{-2}$ u →
$E = 1{,}9325 \cdot 10^{-2} \times 931{,}49 = 17{,}996$ MeV

A 71

a Bij het ontstaan van een ster neemt de concentratie van helium toe. Deze heliumkernen fuseren met andere kernen en vormen zo zwaardere elementen. Dit is heliumvangst.
b Heliumvangst gaat gepaard met het vrijkomen van neutronen. Deze zijn verantwoordelijk voor het ontstaan van elementen zwaarder dan ijzer. Het aantal neutronen neemt door het blijvend invangen af. Daarom komen elementen zwaarder dan ijzer minder voor dan elementen die hun ontstaan voornamelijk danken aan heliumvangst.

B 72

a Fusiereactie
b $m = E / c^2 = 18{,}4 \cdot 10^6 \times 1{,}60 \cdot 10^{-19} / (2{,}9979 \cdot 10^8)^2 = 3{,}28 \cdot 10^{-29}$ kg (= $1{,}98 \cdot 10^{-2}$ u)
Of
(▸binas) tabel 7: $m = 18{,}4 / 931{,}49 = 1{,}98 \cdot 10^{-2}$ u
(= $3{,}28 \cdot 10^{-29}$ kg)

C 73

a De kinetische energie van de protonen wordt gedeeltelijk omgezet in massa.
b Massatoename = neutronmassa − protonmassa = 1,008665 − 1,007276 = $1{,}389 \cdot 10^{-3}$ u
c Waarschijnlijk een kleine massa en zeker positief geladen

B 74

a Per seconde $4 \cdot 10^{26}$ J is genoeg voor $1 \cdot 10^6$ jaar → voor 1 jaar nodig $4 \cdot 10^{20}$ J → (met (▸binas) tabel 5)
$E_{jaar} = 4 \cdot 10^{20} / 3{,}6 \cdot 10^6 = 1 \cdot 10^{14}$ kWh
b $2 + 2 = 3 + A \rightarrow A = 1$
$1 + 1 = 1 + Z \rightarrow Z = 1$
X is een waterstof-1 kern (een proton; $^{1}_{1}H$ of $^{1}_{1}p$)
c $m = E / c^2 = 4{,}2 \cdot 10^6 \times 1{,}60 \cdot 10^{-19} / (3{,}00 \cdot 10^8)^2 = 7{,}5 \cdot 10^{-30}$ kg

B 75

a $m = E / c^2 = 3{,}9 \cdot 10^{26} / (3{,}00 \cdot 10^8)^2 = 4{,}3 \cdot 10^9$ kg
b Uit (▸binas) tabel 5 is de tijd in s en uit (▸binas) tabel 31 is de massa van de zon te halen.
$m = 4{,}33 \cdot 10^9 \times 3 \cdot 10^9 \times 3{,}153600 \cdot 10^7 = 4{,}10 \cdot 10^{26}$ kg
Dat is 100% × $4{,}10 \cdot 10^{26} / 1{,}99 \cdot 10^{30} = 2 \cdot 10^{-2}$% (= 0,02%)

C 76

Percentage is het percentage aardoppervlakte van de boloppervlakte met de afstand aarde – zon als straal:

$$100\% \cdot A_{aarde} / A_{bol} = 100\% \cdot \frac{\pi \cdot r_{aarde}^2}{4\pi \cdot r_{bol}^2} =$$

$$100\% \cdot \times \frac{(6{,}38 \cdot 10^6)^2}{4 \times (0{,}15 \cdot 10^{12})^2} = 4{,}5 \cdot 10^{-8}\%$$

C 77

a Een gas is ideaal als je de eigen volumes van de moleculen en de vanderwaalskrachten tussen de moleculen verwaarloost.
b De temperatuur is zo hoog dat alle atomen geïoniseerd zijn (plasma). Geen aantrekking en bijzonder klein volume als je het vergelijkt met de grootte van de zon.
c $E = {}^3/_2\, k \cdot T \rightarrow T = {}^2/_3\, \frac{E}{k}$

$E = ½m \cdot v^2 = ½ \times 4 \times 1{,}66054 \cdot 10^{-27} \times (5 \cdot 10^5)^2 = 8{,}303 \cdot 10^{-16}$ J
$T = {}^2/_3 \times 8{,}303 \cdot 10^{-16} / 1{,}38 \cdot 10^{-23} = 4 \cdot 10^7$ K

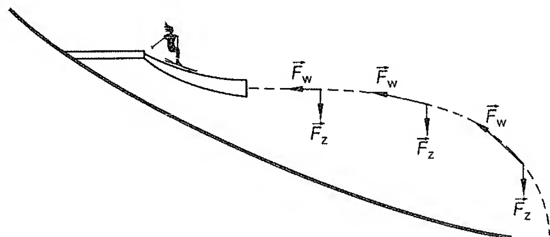
20 Kromlijnige bewegingen

20.1 Inleiding

B 1

a,b,c Zie figuur 20.1.

d Zowel op de schans als in de lucht neemt de snelheid steeds toe en verandert de richting van de snelheid.



20.1

B 2

a Het balletje beweegt in verticale richting op en neer. Zie figuur 20.2a.

b Voor iemand op het perron beweegt het balletje in een kromme (parabool)baan. Zie figuur 20.2b.



20.2a



20.2b

A 3

a (▸binas) tabel 36–12: omtrek = $2\pi \cdot r$ en $A = \pi \cdot r^2$

b $A = 4\pi \cdot r^2$ en $V = {}^4/_3\pi \cdot r^3$

c $A_{aarde} = 4\pi \times (6{,}38 \cdot 10^3)^2 = 5{,}1 \cdot 10^8$ km²

d $r = ½d = 4{,}0$ cm $\rightarrow$ $V = {}^4/_3\pi \times 4{,}0^3 = 2{,}7 \cdot 10^2$ cm³

B 4

$v = s / t$

s = afstand = $2\pi \cdot r = 2\pi \times 0{,}1496 \cdot 10^{12} = 9{,}3996452 \cdot 10^{11}$ m

t = tijdsduur één omloop = 1 jaar = $365{,}256 \times 24 \times 3600 = 3{,}15581 \cdot 10^7$ s

(of met (▸binas) tabel 5: t = 1,000 jaar = $3{,}153600 \cdot 10^7$ s)

$v = 9{,}3996452 \cdot 10^{11} / 3{,}15581 \cdot 10^7 = 2{,}98 \cdot 10^4$ m/s

A 5

$s(t) = ½a \cdot t^2$ en $v(t) = a \cdot t$

20.2 Werpen

A 6

a $x(t) = v \cdot t \rightarrow t = 3{,}6 / 40 = 0{,}090$ s

b $y(t) = ½g \cdot t^2 = ½ \times 9{,}81 \times 0{,}090^2 = 0{,}039$ m

B 7

a $y(t) = ½g \cdot t^2 \rightarrow 0{,}85 = ½ \times 9{,}81 \times t^2 \rightarrow$
$t = 0{,}42$ s

b $v = 40 / 3{,}6 = 11{,}1$ m/s. De tas heeft dezelfde horizontale snelheid als de brommer. Pleuni hoeft alleen de remweg x_{rem} terug te lopen als haar reactietijd ongeveer even groot is als de valtijd.
Dit is zo, want 0,4 s ≈ 0,42 s (vraag a).
$t_{rem} = \Delta v / a = (0 - 11{,}1) / (-8{,}4) = 1{,}32$ s
$x_{rem} = v_{gem} \cdot t = 5{,}56 \times 1{,}32 = 7{,}3$ m. Pleuni moet 7,3 m teruglopen.

B 8

$v_0 = 52 / 3{,}6 = 14{,}4$ m/s; $y(t) = ½g \cdot t^2 \rightarrow t^2 = 2 \times 460 / 9{,}81$
$\rightarrow t = 9{,}68$ s
$x = v \cdot \Delta t = 14{,}4 \times 9{,}68 = 1{,}4 \cdot 10^2$ m
Of:
$y = ½ (g / v_0^2) \cdot x^2 \rightarrow 460 = ½ (9{,}81 / 14{,}4^2) \times x^2 \rightarrow$
$x = 1{,}4 \cdot 10^2$ m

C 9

De sprong moet zo snel gaan dat in de verticale richting niet meer dan 3,2 meter gevallen wordt.
$y(t) = ½g \cdot t^2 \rightarrow 3{,}2 = ½ \times 9{,}81 \times t^2 \rightarrow t = 0{,}81$ s
$x(t) = v_0 \cdot t \rightarrow v_0 = 8{,}5 / 0{,}81 = 11$ m/s (= 40 km/h)

C 10

a De schaal is 1 : 2 $\rightarrow$ verplaatsing in de x-richting is
$8{,}0 \times 2 = 16{,}0$ cm $= 0{,}16$ m $\rightarrow$
$\Delta t = \Delta x / v = 0{,}16 / 5{,}33 \cdot 10^5 = 3{,}0 \cdot 10^{-7}$ s

b De schaal is 1 : 2 $\rightarrow$ verplaatsing in de y-richting is
$2{,}0 \times 2 = 4{,}0$ cm $= 0{,}040$ m
$y(t) = ½a \cdot t^2 \rightarrow$
$a = 2 \cdot y / t^2 = 2 \times 0{,}040 / (3{,}0 \cdot 10^{-7})^2 = 8{,}9 \cdot 10^{11}$ m/s²

c $F_{res} = m \cdot a = 9{,}10 \cdot 10^{-31} \times 8{,}89 \cdot 10^{11} = 8{,}18 \cdot 10^{-19}$ N

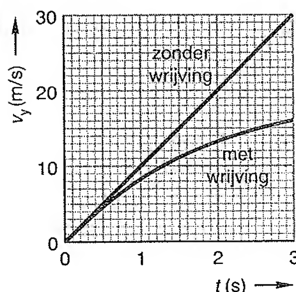
d $F_z = m \cdot g = 9{,}10 \cdot 10^{-31} \times 9{,}81 = 8{,}93 \cdot 10^{-30}$ N
De zwaartekracht is te verwaarlozen ten opzichte van de resulterende kracht. De resulterende kracht is dus gelijk aan de elektrische kracht.
e $\mathscr{E} = F_{el} / q = 8{,}18 \cdot 10^{-19} / 1{,}60 \cdot 10^{-19} = 5{,}11$ N/C
f $v_x = 5{,}33 \cdot 10^5$ m/s en
$v_y = a \cdot t = 8{,}89 \cdot 10^{11} \times 3{,}0 \cdot 10^{-7} = 2{,}7 \cdot 10^5$ m/s
$v^2 = v_x^2 + v_y^2 = (5{,}33 \cdot 10^5)^2 + (2{,}67 \cdot 10^5)^2 \rightarrow v = 6{,}0 \cdot 10^5$ m/s
$\tan \alpha = v_y / v_x = 2{,}67 / 5{,}33 = 0{,}50 \rightarrow \alpha = 27°$

B 11

Valtijd: $y(t) = ½g \cdot t^2 \rightarrow 9{,}5 = ½ \times 9{,}81 \times t^2 \rightarrow$
$t = 1{,}392$ s
$v_{trein} = 80$ km/h $= 22{,}2$ m/s
$\ell_{trein} = v_{trein} \cdot t = 22{,}2 \times 1{,}392 = 30{,}9$ m
De trein moet met meer dan 31 m buiten de tunnel uitsteken.

C 12

a Schaal: 1 cm ≙ 10 m. De parachutist valt 2,35 × 10 = 23,5 m.
De valtijd volgt met $y(t) = ½g \cdot t^2 \rightarrow 23{,}5 = ½ \times 9{,}81 \times t^2$
$\rightarrow t = 2{,}19$ s
Dan is het vliegtuig 100 m verplaatst:
$v = s / t = 100 / 2{,}19 = 46$ m/s
b,c Zie figuur 20.3. Zonder luchtwrijving neemt elke seconde de snelheid toe met 9,81 m/s. Met luchtwrijving loopt de lijn steeds minder stijl. De kromme zal ooit horizontaal eindigen.



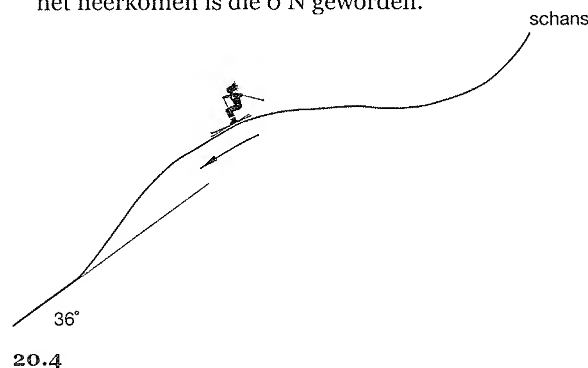
20.3

B 13

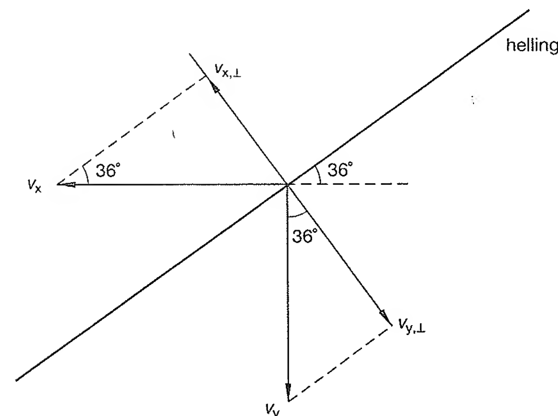
De horizontale snelheid is 200 km/h = 55,6 m/s
De verticale verplaatsing: $y(t) = 18{,}0 - 12{,}0 = 6{,}0$ cm $= 0{,}060$ m
De tijdsduur volgt uit verticale beweging: $y(t) = ½g \cdot t^2 \rightarrow$
$t^2 = 2 \times 0{,}060 / 9{,}81 \rightarrow t = 0{,}11$ s
Horizontale afstand $x = v \cdot t = 55{,}6 \times 0{,}111 = 6{,}1$ m

C 14

Niet in Nederland $\rightarrow g = 9{,}8$ m/s²
a In de tekening komt 2,7 cm overeen met 100 m →
de schaal 1 cm ≙ 3,7 m. In de tekening is de valhoogte
1,3 cm → in werkelijkheid 1,3 × 3,7 = 48 m
b $y(t) = ½g \cdot t^2 \rightarrow 48 = ½ \times 9{,}8 \times t^2 \rightarrow t = 3{,}1$ s
c Hij legt in die tijd 90 m in horizontale richting af. Dan is de snelheid $v_x = x / t = 90 / 3{,}13 = 29$ m/s. Dat is ook de snelheid waarmee hij de horizontaal eindigende schans verlaat.
d $v_y = 9{,}8 \times 3{,}13 = 31$ m/s
e Zie figuur 20.4. De hellingshoek is 36°.
f Zie figuur 20.5. De component van de verticale snelheid loodrecht op helling:
$v_{y,\perp} = 30{,}7 \times \cos 36 = 24{,}8$ m/s
De verticale component van de horizontale snelheid:
$v_{x,\perp} = 28{,}8 \times \sin 36 = 16{,}9$ m/s
Dan is de gevraagde snelheid 24,8 − 16,9 = 7,9 m/s
g Die van vraag f (de component loodrecht op de heuvel). Na het neerkomen is die 0 N geworden.



20.4



20.5

C 15

a Geen wrijving, dus $a = g = -9{,}81$ m/s²
b Hoogste punt: $v = 0$. Dan $a = \Delta v / \Delta t \rightarrow$
$-9{,}81 = (0 - 12) / \Delta t \rightarrow$
$\Delta t = -12 / -9{,}81 = 1{,}2$ s
c $v_{gem} = (12 + 0) / 2 = 6{,}0$ m/s $\rightarrow$
$s = v_{gem} \cdot \Delta t = 6{,}0 \times 1{,}22 = 7{,}3$ m
d WBE $\rightarrow E_{tot,A} = E_{tot,B} \rightarrow E_{k,A} = E_{z,B} \rightarrow ½m \cdot v_A^2 = m \cdot g \cdot h_B$
$\rightarrow h_B = ½v_A^2 / g = 0{,}5 \times 12^2 / 9{,}81 = 7{,}3$ m
e WAK: $W_z = ½m \cdot v_B^2 - ½m \cdot v_A^2 \rightarrow -F_z \cdot s_z = 0 - ½m \cdot v_A^2 \rightarrow$
$-0{,}200 \times 9{,}81 \times s_z = -½ \times 0{,}200 \times 12^2 \rightarrow s_z = h = 7{,}3$ m
f Met versnelling: richting van de vectoren, gemakkelijke formules, gebruik Δ;
met WBE: kinetische energie in punt A, geen vectoren, massa valt weg;
met WAK: teken van de arbeid, gebruik Δ, massa valt weg.
g Alle antwoorden blijven hetzelfde:
Met versnelling: m komt helemaal niet voor; met WBE en WAK: m valt weg uit de vergelijkingen.

20.3 Eenparige cirkelbewegingen

A 16

$\omega = 2\pi / T = 2\pi / (24 \times 3600) = 7{,}27 \cdot 10^{-5}$ rad/s

A 17

a $\omega = 2\pi / T = 2\pi / 1{,}92 = 3{,}27$ rad/s
b $v = \omega \cdot r = 3{,}272 \times 5{,}00 = 16{,}4$ m/s
c $T = 1{,}92$ s
d $f = 0{,}521$ Hz

B 18

$v = 2\pi \cdot r / T = 2\pi \times 0{,}75 \cdot 10^{-3} \times 250 \cdot 10^3 = 1{,}2 \cdot 10^3$ m/s

A 19

a $v = 2\pi \cdot r / T$
b $\omega = 2\pi \cdot f$
c Toerental en frequentie zijn dezelfde grootheden:
$f_{toer} = f_{freq} = 1 / T$
Vaak wordt toerental per minuut gegeven, dan geldt:
f_{toer} (in 1/minuut)= $60 \times f_{freq}$ (in 1/s)
d Dit is een open antwoord ter beoordeling van de docent.

A 20

a 1 rad = 360° / 2π = 57,3°
b 1° = 1 / 57,3 = $1{,}75 \cdot 10^{-2}$ rad (= 0,0175 rad)

A 21

a 0,66
b −1,38
c 0,97
d 2,01

B 22

a 49° en (180 − 49) = 131°
b 48,0°
c 1,3 rad
d 1,3 rad

B 23

a $\omega = 2\pi / T = 2\pi / 5{,}2 = 1{,}2$ rad/s (voor alle dansers)
b Er geldt: $v = \omega \cdot r$. De middelste danser E blijft op zijn plaats: $v_E = 0$, de snelheid van danser P aan het uiteinde is $v_P = \omega \cdot r_P = 1{,}21 \times 3{,}0 = 3{,}6$ m/s en die van de danser N op 0,75 m: $v_N = \omega \cdot r_N = 1{,}21 \times 0{,}75 = 0{,}91$ m/s

A 24

a $f = 820 / 60$; $\omega = 2\pi \times f = 2\pi \times 820 / 60 = 85{,}9$ rad/s
b $v = \omega \cdot r = 85{,}9 \times 0{,}037 = 3{,}2$ m/s

A 25

a $s = \varphi \cdot r = 3{,}4 \times 0{,}95 = 3{,}2$ m
b $s = \varphi \cdot r = 2{,}15 \times 7{,}2 = 15$ m
c 235° = 235° / 57,3° = 4,1 rad → $s = \varphi \cdot r = 2{,}4 \times 4{,}1 = 9{,}8$ m
d $\varphi = s / r = 5{,}4 / 0{,}98 = 5{,}5$ rad
e $\varphi = s / r = 0{,}23 / 0{,}015 = 15$ rad

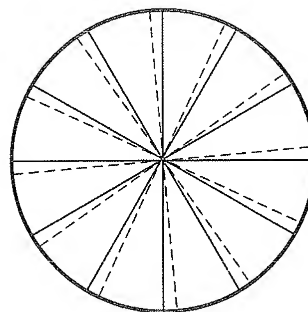
B 26

a 2500 omwentelingen per minuut:
$f = 2500 / 60 = 41{,}67$ omw/s
$\omega = 2\pi / T = 2\pi \cdot f = 2\pi \times 41{,}67 = 2{,}618 \cdot 10^2$ rad/s
b $v = 2{,}618 \cdot 10^2 \times 0{,}24 = 63$ m/s

B 27

a v = 14,5 / 3,6 = 4,03 m/s. Omtrek van een fietswiel is $2\pi \cdot r = 2\pi \times 0{,}375 = 2{,}36$ m
In 1 s draait het wiel 4,03 / 2,36 = 1,71 keer rond →
$f = 1{,}71$ Hz →
$T = 1 / f = 1 / 1{,}708 = 0{,}59$ s
b $\varphi = \omega \cdot t = 2\pi \cdot f \cdot t = 2\pi \times 1{,}708 \times 1{,}0 = 11$ rad

c 36 spaken: de hoek tussen twee spaken is 360 / 36 = 10°
Tussen twee flitsen moeten de spaken 10°, 20°, enzovoort draaien, dan lijkt het of de spaken stilstaan.
Als t = 0,59 s, dan is het wiel 360° gedraaid. Dus voor 10°: 0,586 / 36 = 0,0163 s. $f_{stroboscoop} = 1 / 0{,}0163$ Hz of $f_{stroboscoop} = 1 / 0{,}0326$ Hz enzovoorts.
f = 61 Hz, 31 Hz, enzovoorts (61 Hz delen door 1, 2, 3, ...)
d Als de frequentie anders is, flitst de stroboscoop voor- of nadat de spaak 10° gedraaid is. Het lijkt dan of deze spaak een beetje voor- of achterloopt.
e De stroboscoop flitst voordat de spaak 10° gedraaid is. Zie figuur 20.6. De tijdsduur is kleiner, dus dit gebeurt bij een grotere frequentie.
f De snelheid van het tandwiel is overal even groot. Dus de baansnelheden van de tandwielen zijn even groot.
g $v_1 = v_2 \rightarrow \omega_1 \cdot r_1 = \omega_2 \cdot r_2$
$\omega_1 / \omega_2 = r_2 / r_1 = 3{,}3 / 9{,}2 = 0{,}36$



20.6

B 28

a $f = 1000 / 60 = 16{,}7$ Hz;
$v = 2\pi \cdot r \cdot f = 2\pi \times 1{,}28 \times 16{,}7 = 1{,}34 \cdot 10^2$ m/s
b De snelheid is maximaal als r maximaal is, dus bij de tip van de rotorbladen.
c $v = 2\pi \cdot r \cdot f \rightarrow f = v / (2\pi \cdot r)$ met v = 330 m/s (koud!) en r = 2,56 m volgt:
$f = 330 / (2\pi \times 2{,}56) = 20{,}5$ toeren/s
d Er treedt versterking op van het bedoelde effect, omdat bij de snelheid van de tip van de rotor nog de snelheid van de helikopter als geheel moet worden opgeteld.

B 29

a De baan is wel een deel van een cirkel. Het ophangpunt is het middelpunt en de lengte van de slinger is de straal.
b De beweging is niet eenparig, want de snelheid wordt voortdurend groter en kleiner.

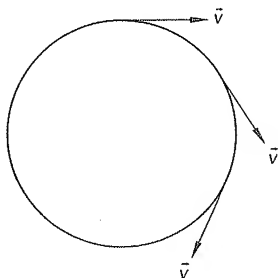
B 30

a $\omega = 2\pi / T = 2\pi / (4{,}2 \times 3600) = 4{,}2 \cdot 10^{-4}$ rad/s
b In ▸binas tabel 31 staat $r_A = 6{,}378 \cdot 10^6$ m
c $r = r_A + h \rightarrow$
$r = 6{,}378 \cdot 10^6 + 6{,}75 \cdot 10^6 = 1{,}3 \cdot 10^7$ m
$v = \omega \cdot r = 4{,}16 \cdot 10^{-4} \times 1{,}313 \cdot 10^7 = 5{,}5 \cdot 10^3$ m/s

20.4 Krachten bij cirkelbewegingen

A 31

Zie figuur 20.7. Elk moment is de snelheidsvector langs de baan gericht.



20.7

A 32

Door het voorwerp een cirkelbeweging te laten uitvoeren waardoor het een grote baansnelheid krijgt.

A 33

$F_{mpz} = m \cdot v^2 / r = 5{,}3 \times 13^2 / 22 = 41$ N
NB. Overal waar we F_{mpz} schrijven kun je ook F_c lezen.

A 34

a $v = 2\pi \cdot r / T = 20 \times 2\pi \times 0{,}25 / 12{,}34 = 2{,}5$ m/s
b $F_{mpz} = m \cdot v^2 / r = 0{,}017 \times 2{,}546^2 / 0{,}25 = 0{,}44$ N
c $m = F_z / g = 0{,}44 / 9{,}81 = 0{,}045$ kg (= 45 g)

C 35

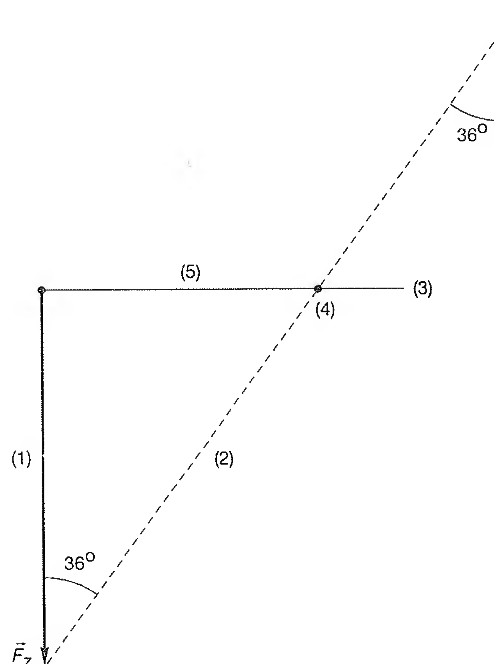
a $m \cdot \omega^2 \cdot r = F_{span} \rightarrow \omega^2 = 2{,}6 \cdot 10^3 / (0{,}83 \times 2{,}3) \rightarrow$
$\omega = 36{,}9$ rad/s met $\omega = 2\pi \cdot f \rightarrow$
toerental $f = \omega / 2\pi = 36{,}9 / 2\pi = 5{,}9$ Hz
b $F_{mpz} = m \cdot \omega^2 \cdot r = 71 \rightarrow m = 71 / (3{,}2^2 \times 2{,}3) = 3{,}0$ kg

C 36

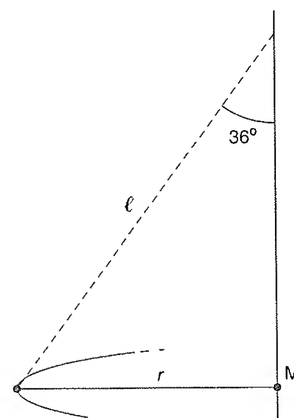
a Elektrische kracht
b $F_{mpz} = F_e = m \cdot v^2 / r \rightarrow 9{,}11 \cdot 10^{-31} \times v^2 / 5{,}3 \cdot 10^{-11} = 8{,}2 \cdot 10^{-9}$
$\rightarrow v = 2{,}2 \cdot 10^6$ m/s en $\omega = v / r = 4{,}1 \cdot 10^{16}$ m/s

C 37

a De spankracht en de zwaartekracht
b Het middelpunt ligt op de draaias in het vlak van de cirkelbeweging.
c De resultante is naar het middelpunt van de cirkelbaan gericht en heeft een grootte $m \cdot v^2 / r$.
d Zie figuur 20.8. De spankracht is ook te tekenen als de vector die begint bij de punt van de zwaartekracht en eindigt bij de punt van de resulterende kracht. Teken de zwaartekracht ($F_z = m \cdot g = 0{,}050 \times 9{,}81 = 0{,}49$ N) als een pijl van 4,9 cm (1) $\rightarrow$ schaal 1 cm ≙ 0,1 N. Teken de richting van de slinger (2). Trek een horizontale lijn (3). Het snijpunt met lijn (2) geeft via de schuine zijde de spankracht (4). Opmeten geeft een lengte van 6,1 cm $\rightarrow F_{span} = 0{,}61$ N
(Controle: uit figuur 20.8 volgt ook:
$\cos \alpha = F_z / F_{span} \rightarrow$
$F_{span} = F_z / \cos 36 = 0{,}050 \times 9{,}81 / \cos 36 = 0{,}61$ N)
e Zie figuur 20.8. Lijnstuk (5) is de middelpuntzoekende kracht. Opmeten geeft een lengte van 3,6 cm $\rightarrow$
$F_{mpz} = 0{,}36$ N
(Controle: uit figuur 20.8 volgt ook:
$\tan \alpha = F_{mpz} / F_z \rightarrow$
$F_{mpz} = F_z \cdot \tan 36 = 0{,}050 \times 9{,}81 \times \tan 36 = 0{,}36$ N)
f Zie figuur 20.9. Daaruit volgt: $\sin \alpha = r / \ell \rightarrow$
$r = 0{,}64 \times \sin 36 = 0{,}38$ m
g $F_{mpz} = m \cdot v^2 / r \rightarrow 0{,}36 = 0{,}050 \times v^2 / 0{,}38 \rightarrow v = 1{,}6$ m/s
$v = 2\pi \cdot r / T \rightarrow T = 1{,}4$ s
h $\omega = 2\pi / T$, als t groter $\rightarrow \omega$ kleiner $\rightarrow \cos \alpha$ groter $\rightarrow$
α kleiner. Dus de hoek wordt kleiner.



20.8



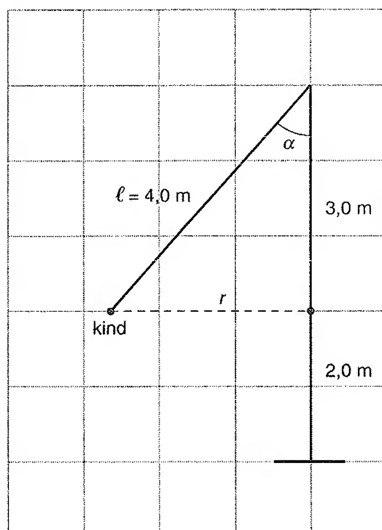
20.9

C 38

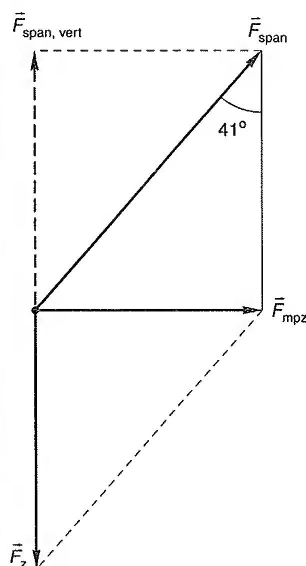
a Zie figuur 20.10. Hieruit: $\cos \alpha = 3{,}0 / 4{,}0 = 0{,}75 \rightarrow$
$\alpha = 41°$
b Zie figuur 20.11. De verticale component van de spankracht moet de zwaartekracht compenseren $F_{span,vert} = F_z \rightarrow$
$F_{span} \times \cos 41° = (10 + 40) \times 9{,}81 \rightarrow$
$F_{span} = 50 \times 9{,}81 / \cos 41 = 6{,}5 \cdot 10^2$ N

c Te vinden uit $F_{mpz} = m \cdot v^2 / r$
Zie figuur 20.10.
De straal $r = \ell \cdot \sin 41 = 4{,}0 \times \sin 41 = 2{,}62$ m
Zie figuur 20.11. De middelpuntzoekende kracht (de resultante) is de horizontale component van de spankracht:
$F_{span,hor} = F_{mpz} = F_{span} \times \sin 41 = 4{,}26 \cdot 10^2$ N
Invullen:
$F_{mpz} = m \cdot v^2 / r \rightarrow 4{,}26 \cdot 10^2 = 50 \times v^2 / 2{,}62 \rightarrow v = 4{,}7$ m/s

d Een cirkelomtrek = $2\pi \cdot r \rightarrow$ in 1 minuut $60 \times 4{,}73 = 284$ m
$\rightarrow 286 / (2\pi \times 2{,}62) = 17$ omwentelingen



20.10



20.11

20.5 Bochtenwerk

A 39

a $F_{mpz} = m \cdot v^2 / r = 1150 \times (85 / 3{,}6)^2 / 90 = 7{,}1 \cdot 10^3$ N
b $a = F / m = 7{,}12 \cdot 10^3 / 1150 = 6{,}2$ m/s²

B 40

a Trek bij A en B een lijn, loodrecht op de rijrichting. Het middelpunt van de bocht ligt op 11 cm van A en B (in tekening) en dus op $2{,}2 \cdot 10^2$ m van A en B.

b $F_{mpz} = \dfrac{m \cdot v^2}{r} \rightarrow v^2 = F_{mpz} \cdot r / m = 12 \cdot 10^3 \times 2{,}2 \cdot 10^2 / 5{,}4 \cdot 10^3$
$= 4{,}89 \cdot 10^2 \rightarrow v = 22$ m/s

c De straal van de autobaan is dan hetzelfde; de resulterende kracht kan kleiner zijn (60 km/h = 17 m/s < 22 m/s).

d $v = 120$ km/h $= 33{,}3$ m/s
$F_{mpz} = \dfrac{m \cdot v^2}{r} \rightarrow$
$r = m \cdot v^2 / F_{mpz} = 5{,}4 \cdot 10^3 \times 33{,}3^2 / 12 \cdot 10^3 = 5{,}0 \cdot 10^2$ m

De straal van de autobaan is dan groter dan de straal van de bocht. De auto vliegt uit de bocht.

B 41

a $a = v^2 / r = \omega^2 \cdot r$ met $a = 9 \cdot g \rightarrow$
$\omega = \sqrt{9 \times 9{,}8 / 15} = 2{,}4$ rad/s
$\omega = 2\pi \cdot f \rightarrow$ toerental $f = \omega / 2\pi = 2{,}43 / 2\pi = 0{,}39$ Hz
(= 23 omwentelingen/minuut)
b $v = 2{,}43 \times 15 = 36$ m/s (circa 130 km/h)

C 42

a $F_{mpz} = m \cdot v^2 / r = 50 \times 8{,}0^2 / 5{,}0 = 6{,}4 \cdot 10^2$ N
b $F_z = m \cdot g = 50 \times 9{,}81 = 491$ N
In G geldt: $F_{mpz} = F_n + F_z \rightarrow$
$F_n = F_{mpz} - F_z = 640 - 491 = 1{,}5 \cdot 10^2$ N
c $F_z = F_{mpz} \rightarrow 491 = 50 \times v^2 / 5{,}0 \rightarrow v = 7{,}0$ m/s
d Dan val je naar beneden en je volgt niet meer de baan.
e $F_{mpz} = m \cdot v^2 / r$ met m constant. Onderaan is v groter, dus om dezelfde kracht te krijgen moet r onderaan groter zijn dan boven in de looping.

C 43

a In het hoogste punt komt de auto net (niet) los van de wand; de zwaartekracht is de centripetale kracht.
$F_z = F_{mpz} \rightarrow m \cdot g = m \cdot v^2 / r \rightarrow$
$v = \sqrt{g \cdot r} = \sqrt{9{,}81 \times 0{,}55} = 2{,}32$ m/s
WBE: $½m \cdot v_{begin}^2 = m \cdot g \cdot h + ½m \cdot v_{boven}^2 \rightarrow$
$v_{begin}^2 = 2 \times 9{,}81 \times 1{,}10 + 2{,}32^2 \rightarrow v_{begin} = 5{,}2$ m/s
b WBE: $E_v = E_k + E_z$
$½C \cdot u^2 = ½m \cdot v^2 + m \cdot g \cdot h$
$½ \times 76 \times u^2 = ½ \times 0{,}065 \times 5{,}19^2 + 0{,}065 \times 9{,}81 \times 1{,}10$
$u = 0{,}20$ m
c $v = 2 \times 2{,}32 = 4{,}6$ m/s $\rightarrow$
$F_{mpz} = m \cdot v^2 / r = 0{,}065 \times 4{,}6^2 / 0{,}55 = 2{,}5$ N en
$F_z = m \cdot g = 0{,}065 \times 9{,}81 = 0{,}64$ N
$F_{mpz} = F_n + F_z \rightarrow F_n = F_{mpz} - F_z = 2{,}5$ N $- 0{,}64$ N $= 1{,}9$ N

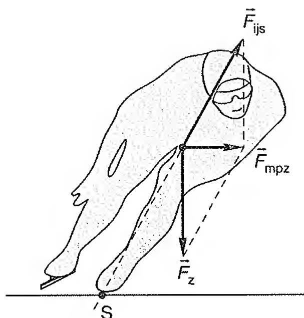
C 44

a Uit het diagram is met behulp van de steilheid de versnelling te bepalen:
$a = \Delta v / \Delta t = 8{,}0 / 3{,}0 = 2{,}67$ m/s²
$F_{res} = m \cdot a = 83 \times 2{,}67 = 2{,}2 \cdot 10^2$ N
b Dan is de voortdrijvende kracht gelijk aan de tegenwerkende wrijvingskrachten.
c $P = (F \cdot \Delta s) / \Delta t$. De verplaatsing in 3,0 s is $\Delta s = ½a \cdot t^2 =$
$½ \times 2{,}67 \times 3{,}0^2 = 12$ m (of de oppervlakte onder de grafiek: $\Delta s = ½ \times 8{,}0 \times 3{,}0 = 12$ m)
$P = 2{,}21 \cdot 10^2 \times 12 / 3{,}0 = 8{,}9 \cdot 10^2$ W

d De totale tijd is tijd I (totdat de schaatser eenparig rijdt: 7,0 s) + tijd II (de eenparige beweging).
De afgelegde afstand is de oppervlakte onder grafiek.
Afstand I: Bepalen door schatten tot 7,0 s. Afstand II: berekenen uit eenparige beweging na 7,0 s.
Afstand I: tot 7,0 s worden 30 hokjes geschat met elk hokje een verplaatsing van 2,0 m/s × 1,0 s = 2,0 m →
afstand I = 30 × 2,0 = 60 m.
Afstand II = 500 − 60 = 440 m met een constante
v = 14 m/s →
Tijd II = 440 / 14 = 31,4 s. Totale tijd = 7,0 + 31,4 = 38 s

e Zie figuur 20.12.

f $F_{mpz} = m \cdot v^2 / r \rightarrow$
$v = \sqrt{F_{mpz} \cdot r / m} = \sqrt{430 \times 32 / 76} = 13$ m/s



20.12

20.6 Satellieten

A 45

$F_g = G \cdot m \cdot M / r^2 = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \times 0{,}050 \times 0{,}200 / 0{,}10^2 = 6{,}7 \cdot 10^{-11}$ N

A 46

[constante] = $[\omega^2] \cdot [r^3] = 1/s^2 \cdot m^3 = m^3/s^2$

C 47

a $t = 365 \times 24 \times 3600 = 3{,}15 \cdot 10^7$ s
(Controleer met ▸binas tabel 5: $t = 3{,}1536 \cdot 10^7$ s)

b ▸binas tabel 31: $r_{AZ} = 3{,}15 \cdot 10^7$ m

c $F_{mpz} = F_g \rightarrow m_A \cdot \omega^2 \cdot r_{AZ} = G \cdot M_Z \cdot m_A / r_{AZ}^2 \rightarrow$
$M_Z = \omega^2 \cdot r_{AZ}^3 / G = (2\pi / 3{,}15 \cdot 10^7)^2 \cdot (3{,}15 \cdot 10^7)^3 / 6{,}67 \cdot 10^{-11} = 2{,}0 \cdot 10^{30}$ kg

B 48

a Gelijk aan hoeksnelheid aarde:
$\omega = 2\pi / T = 2\pi / (24 \times 3600) = 7{,}27 \cdot 10^{-5}$ rad/s

b $m \cdot \omega^2 \cdot r = m \cdot M \cdot G / r^2 \rightarrow$
$r^3 = M \cdot G / \omega^2 = 6{,}0 \cdot 10^{24} \times 6{,}67 \cdot 10^{-11} / (7{,}27 \cdot 10^{-5})^2 \rightarrow$
$r = 42 \cdot 10^6$ m; $h = r - r_A = 42 \cdot 10^6 - 6{,}38 \cdot 10^6 = 3{,}6 \cdot 10^7$ m

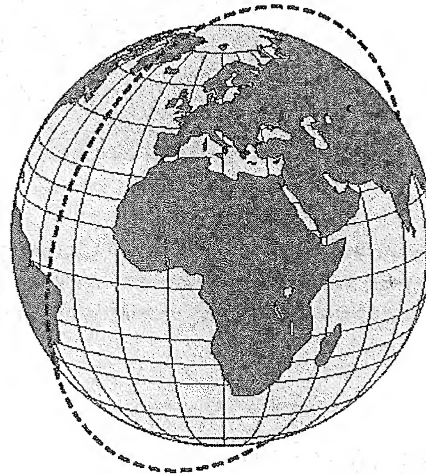
c Anders draait de aarde onder hem weg.
Het middelpunt van de cirkelbaan van een satelliet is altijd het middelpunt van de aarde; de centripetale kracht op een satelliet wijst immers naar dit middelpunt. Van alle mogelijke vlakken door het middelpunt van de aarde staat alleen het vlak dat door de evenaar gaat loodrecht op de as van de aarde. Alleen een satelliet die in dit vlak draait, kan meedraaien. Daarom hangt een dergelijke satelliet boven de evenaar.

C 49

a $F_{mpz} = F_g \rightarrow m_{sat} \cdot v^2 / r = G \cdot M_A \cdot m_{sat} / r^2 \rightarrow$
$r = G \cdot M_A / v^2 = 6{,}6726 \cdot 10^{-11} \times 5{,}976 \cdot 10^{24} / (7{,}5 \cdot 10^3)^2 \rightarrow$
$r = 7{,}08897 \cdot 10^6$ m
$h = r - r_A = 7{,}08897 \cdot 10^6 - 6{,}378 \cdot 10^6 = 7{,}11 \cdot 10^5$ m

b $T = 2\pi \cdot r / v = 2\pi \times 7{,}09 \cdot 10^6 / 7{,}5 \cdot 10^3 = 5{,}9 \cdot 10^3$ s

c Zie figuur 20.13.



20.13

C 50

$F_{mpz} = F_g \rightarrow m \cdot \omega^2 \cdot r = G \cdot m \cdot M / r^2 \rightarrow \omega^2 \cdot r^3 = G \cdot M$ met
$\omega = 2\pi / T \rightarrow$

$$4\pi^2 \cdot r^3 / T^2 = G \cdot M \rightarrow \frac{r^3}{T^2} = \frac{G \cdot M}{4\pi^2}$$

(Dit is een van de wetten van Kepler.)

C 51

a De zwaartekracht op 1,0 kg is 7,5 N. Deze moet gelijk zijn aan de gravitatiekracht op een afstand van een planeetstraal.
$F_g = G \cdot M \cdot m / r^2 = 7{,}5 \rightarrow$
$M = F_g \cdot r^2 / (G \cdot m) = 7{,}5 \times (2{,}8 \cdot 10^6)^2 / 1 \times 6{,}67 \cdot 10^{-11} = 8{,}8 \cdot 10^{23}$ kg

b $F_{mpz} = F_g \rightarrow m_T \cdot \omega^2 \cdot r_{TR} = G \cdot M_R \cdot m_T / r_{TR}^2 \rightarrow$
$\omega^2 \cdot r_{TR}^3 = G \cdot M_R$ met $\omega = 2\pi / T$ volgt:
$r_{TR}^3 / T^2 = G \cdot M_R / (2\pi)^2$
$(2{,}5 \cdot 10^{13})^3 / (6{,}0 \cdot 10^7)^2 = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot M_T / (4\pi^2) \rightarrow$
$M_T = 2{,}6 \cdot 10^{36}$ kg

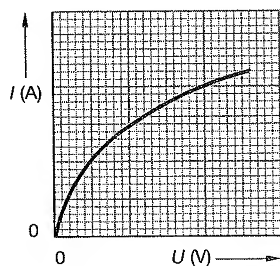
21 (Centraal) examen doen

Let op: Bij een aantal antwoorden op de herhalingsvragen (H) is alleen het antwoord gegeven ter controle voor jezelf. Als je een dergelijke vraag op een toets krijgt, moet je de uitwerking compleet opschrijven.

21.2 Elektriciteit en magnetisme

H 1

a 0,98 C
b $R = U / I = 69\ \Omega$
c $P = U \cdot I = 0{,}29$ W
d Zie figuur 21.1.
De spanning (U) wordt groter. I neemt minder dan evenredig toe; de weerstand wordt groter.
e $I = Q / t = 0{,}040$ A
f $N = Q / e = 1{,}2 \cdot 10^{-3} / 1{,}6 \cdot 10^{-19} = 7{,}5 \cdot 10^{15}$



21.1

H 2

a $E = 320$ kWh $= 1{,}15 \cdot 10^{9}$ J; $t = 3{,}15 \cdot 10^{7}$ s
$P = E / t = 36{,}5$ W
b Er gaat $(320 / 3{,}0 \cdot 10^{3}) \times 100\% = 11\%$ aan deze wachtstand verloren.
c Dat komt overeen met $320 \times\ 0{,}16 =\ 51{,}20$
d $c_{lucht} = 1{,}00$ J/kg · K; $\rho = 1{,}293$ kg/m³
$m = 1{,}293 \times 125 = 161{,}6$ kg
$E = c \cdot m \cdot \Delta T \rightarrow 1{,}15 \cdot 10^{9} = 1{,}00 \times 161{,}6 \times \Delta T \rightarrow$
$\Delta T = 7{,}11 \cdot 10^{6}$ K
Gelukkig dus dat deze energie niet in één keer vrijkomt.

H 3

a P = intensiteit × oppervlakte $= 1{,}68 \cdot 10^{2}$ W
b $E = P \cdot t \rightarrow t = 2{,}4$ s
c $P_{nut} = 0{,}048 \times 168 = 8{,}06$ W; $t = 50$ s
d Milieuvriendelijk; ook te gebruiken op plaatsen waar geen elektriciteitsvoorzieningen zijn.

H 4

A1, A3, V3 zijn fout; V2 (of V1) is overbodig.

H 5

a $R = \rho \cdot \ell / A = 105 \cdot 10^{-9} \times 3{,}2 / 0{,}12 \cdot 10^{-6} = 2{,}8\ \Omega$
b $A = 1{,}13 \cdot 10^{-8}$ m³; $\rho = 1{,}10 \cdot 10^{-6}\ \Omega \cdot$ m $\rightarrow \ell = 3{,}3 \cdot 10^{-2}$ m
c $\rho = 16 \cdot 10^{-9}\ \Omega \cdot$ m; $A = \rho \cdot \ell / R = 6{,}4 \cdot 10^{-7} \rightarrow$
$r = 4{,}51 \cdot 10^{-4}$ m $\rightarrow d = 9{,}0 \cdot 10^{-4}$ m

H 6

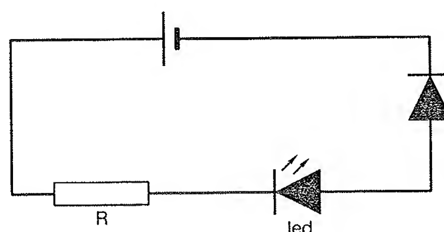
a $R = U / I = 2{,}9\ \Omega$
b De stoom splitst zich; er is sprake van een parallelschakeling.
c $I_{draad} = 4{,}2 / 9 = 0{,}467$ A $\rightarrow R = 26\ \Omega$
d $E = U \cdot I \cdot t = 12 \times 0{,}467 \times 1 = 5{,}6$ J
e De andere draden branden niet door; de spanning over de draad blijft hetzelfde (12 V).

H 7

a $R_v = 0{,}48\ \Omega$
b $R_{tot} = 4{,}48\ \Omega$
$I_{tot} = U_{tot} / R_{tot} = 4{,}5 / 4{,}48 = 1{,}0$ A
c $U = I \cdot R = 1{,}5$ V
d Over de parallelgeschakelde weerstanden: $U = I \cdot R = 0{,}48$ V, dus ook over de weerstand van $3{,}0\ \Omega \rightarrow$
$I = 0{,}48 / 3{,}0 = 0{,}16$ A

H 8

a De stroom loopt in de doorlaatrichting, dus het lampje brandt.
b Kleine weerstand; diode in doorlaatrichting.
c Zie figuur 21.2.
d Diode én batterij omdraaien, of alleen led omdraaien.
e Als beide diodes in de doorlaatrichting staan is de weerstand erg klein en zou de stroomsterkte te groot worden.



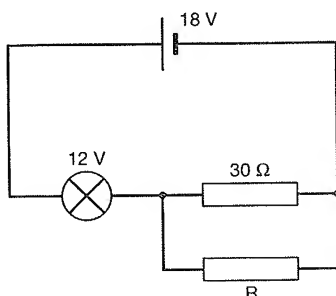
21.2

H 9

a 4,5 V
b 4,5 V
c $U_{LDR} = 4,5 - 4,1 = 0,4$ V; $R = U / I = 1,0$ kΩ
d In de serieschakeling verdeelt de spanning zich over de weerstanden. Omdat in het donker de weerstrand van de LDR heel groot is, is de spanning over R heel klein, bijna 0 V.

H 10

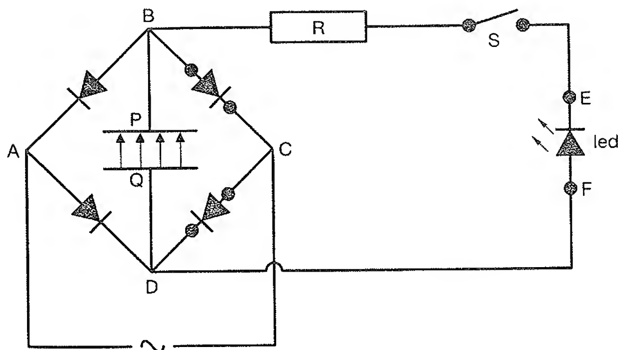
Schakeling: zie figuur 21.3.
De stroomsterkte door het lampje:
$I = P / U = 6,0 / 12 = 0,50$ A.
Voor de parallelschakeling geldt: $U = 18 - 12 = 6$ V.
De stroomsterkte door de parallelschakeling is gelijk aan de stroomsterkte door het lampje.
De stroomsterkte door de weerstand van 30 Ω is $6,0 / 30 = 0,20$ A.
Door R is de stroomsterkte $0,50 - 0,20 = 0,30$ A.
$R = U / I = 20$ Ω



21.3

E 11

a,b Zie figuur 21.4.
c De condensator ontlaadt zich via de weerstand en de led.
d Hoe je de lamp ook aansluit, de condensator wordt steeds opgeladen. Je kunt er dus ook een gelijkspanningsbron op aansluiten.
e De weerstand van de led is erg klein, de stroomsterkte door de led zou snel erg groot worden, zodat de led kapotgaat een de condensator snel leeg is.
f $P = U \cdot I \rightarrow 1,5 = 4,3 \times I \rightarrow I = 0,349$ A
$U = I \cdot R = 0,349 \times 600 = 209,3$ V
$U_{cond} = U_R + U_{LDR} = 209,3 + 4,3 = 213,6$ V
$E = U \cdot I \cdot t = 213,6 \times 0,349 \times 240 = 1,8 \cdot 10^4$ J



21.4

E 12

De energie die de zonecellen per seconde opvangen is:
$200 \times 0,7 \cdot 10^3 = 1,4 \cdot 10^5$ J
$E_{nut} = 15\%$ van $1,4 \cdot 10^5 = 2,1 \cdot 10^4$ J
$P = U \cdot I \rightarrow I = 2,1 \cdot 10^4 / 48 = 4,4 \cdot 10^4$ A

H 13

a $\mathscr{E} = F_{el} / q = 1,3 \cdot 10^4$ N/C
b Van de positieve naar de negatieve plaat
c Blijft gelijk; het veld is homogeen
d Eenparig versneld
e $W = F_{el} \cdot s = 7,5 \cdot 10^{-11}$ Nm

H 14

a $F_{el} = \mathscr{E} \cdot q = -2,4 \cdot 10^{-16}$ N
$F_z = m \cdot g = 8,9 \cdot 10^{-30}$ N
De zwaartekracht is veel kleiner dan de elektrische kracht.
b In de richting van de plaat die met de pluspool is aangesloten.
c $W = F_{el} \cdot s = 9,6 \cdot 10^{-19}$ N·m $= ½mv^2$
$v = 1,5 \cdot 10^6$ m/s

E 15

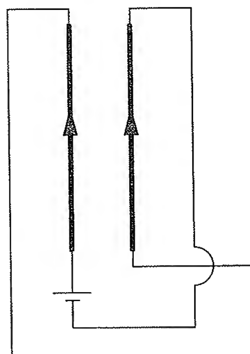
a Eenparig; in de elektroden is geen elektrisch veld.
b Eenparig versneld. Het veld oefent een constante elektrische kracht uit.
c De snelheid wordt steeds groter, dus om de tijd dat het proton in de elektrode is gelijk te houden moet elke volgende elektrode steeds langer zijn.
d $\Delta E_k = q \cdot \Delta U \rightarrow 50 \times$ tussen twee elektroden, dus 51.
e $E_k = ½m \cdot v^2$; $m = 1,67262 \cdot 10^{-27}$ kg $\rightarrow v = 4,0 \cdot 10^7$ m/s
f $\Delta t = 1,0 / 4,0 \cdot 10^7 = 2,5 \cdot 10^{-8}$ s
$T = 2 \times 2,5 \cdot 10^{-8} = 5,0 \cdot 10^{-8}$ s $\rightarrow f = 2,0 \cdot 10^7$ Hz

H 16

a $B = \mu_0 \cdot N \cdot I / l = 1,5 \cdot 10^{-3}$ T
b In de lengterichting naar O naar W
c Het veld in spoel B is tegengesteld aan het veld in spoel A. Bij een voldoende grote stroomsterkte wordt het veld in spoel B het grootst.
d Bij het omklappen geldt: $B_A = B_B \rightarrow N_B = 146$

H 17

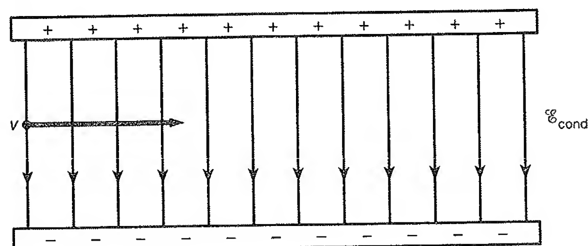
a Zie figuur 21.5.
b Aan de ene kant gaat het veld het papier in, aan de andere kant het papier uit.
c Op de plaats van de tweede draad is het magnetisch veld het papier in gericht; met de linkerhandregel vind je dat de lorentzkracht naar de andere draad gericht is.
d $B = F_L / (I \cdot l) \rightarrow B = 8,1 \cdot 10^{-8}$ T
e Het veld van draad 2 op de plaats van draad 1 is papier uit gericht. F_L wijst naar draad 2.



21.5

H 18

a Zie figuur 21.6.
$F_{el} = \mathcal{E} \cdot q = 1{,}9 \cdot 10^{-16}$ N
b Naar de positieve plaat
c 0 N
d Tegengesteld gericht aan de elektrische kracht
e Linkerhandregel: voor de situatie zoals in figuur 21.6 moet B het papier in wijzen.
f $B \cdot q \cdot v = \mathcal{E} \cdot q \rightarrow B = 4{,}8 \cdot 10^{-2}$ T



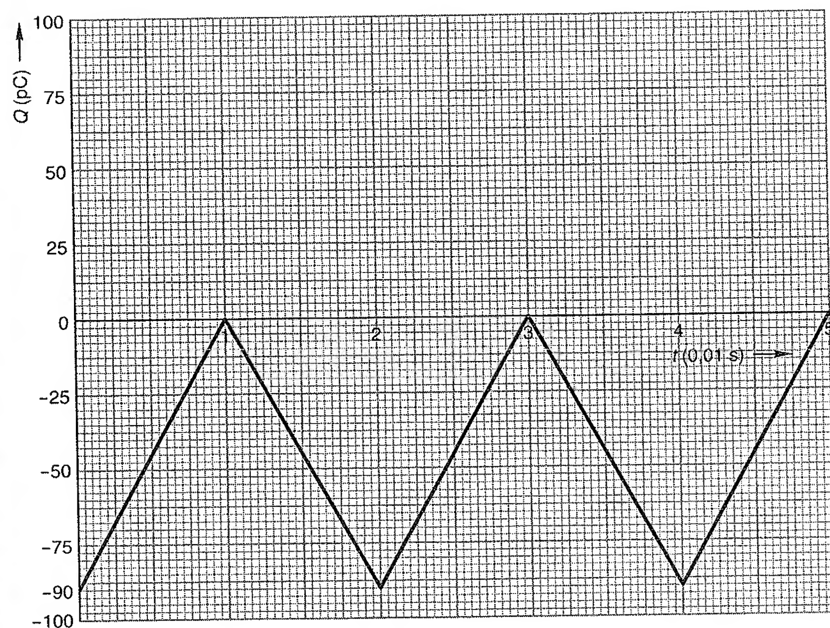
21.6

H 19

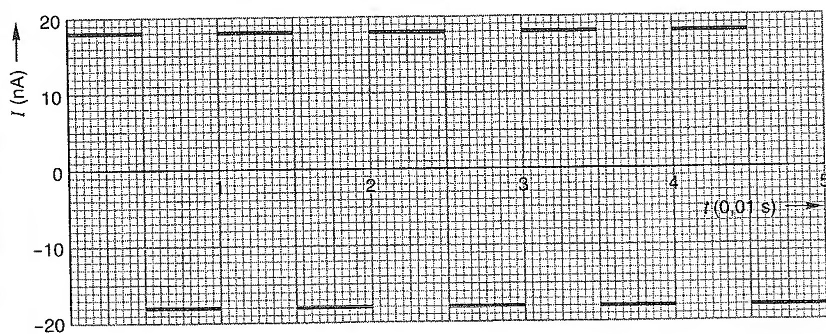
a $F = 4{,}7 \cdot 10^{-4}$ N $\rightarrow$ op één draad van 0,15 m lengte:
$F_L = 4{,}7 \cdot 10^{-7}$ N $\rightarrow$
$B = F_L / (I \cdot \ell) \rightarrow B = 1{,}4 \cdot 10^{-4}$ T
b Uit figuur 21.27b in het leerboek blijkt dat F_L recht evenredig is met de draaihoek. I is recht evenredig met F_L, dus ook met de draaihoek.
c F_L wordt twee keer zo groot, dus de draaihoek ook. Deze wordt 56°.

E 20

a De elektrische veldlijnen lopen altijd van positief naar negatief. De veldlijnen eindigen bij de plaat. De plaat is dus negatief geladen.
b Eenheden in de formule invullen levert:
C = m² · N · C⁻¹ / [f]
[f] = m² · N · C⁻²
c De stroom is direct na t = 0 s positief $\rightarrow$ er loopt een elektrische stroom naar de onderste plaat. De elektronen gaan dus de andere kant op, naar de aarde. Dit gebeurt als de onderste plaat op dat tijdstip precies onder een gat zit en daarna bedekt gaat worden.
d Zie figuur 21.7. Door het eenparig draaien varieert de lading lineair. Op t = 0 s is de lading maximaal negatief. Tijdens het ontladen stroomt een lading.
$Q = I \cdot t = -9{,}0 \cdot 10^{-9} \times 0{,}01 = -9{,}0 \cdot 10^{-11}$ C = −90 pC
e Zie figuur 21.8. Omdat de schijf 2× zo snel draait, is de periode T 2× zo klein. De ontlading gebeurt in de helft van de tijd $\rightarrow$ I is 2× zo groot.
f $Q = A \cdot \mathcal{E} / 4\pi \cdot f \rightarrow \mathcal{E} = 2{,}6 \cdot 10^4$ V/m



21.7

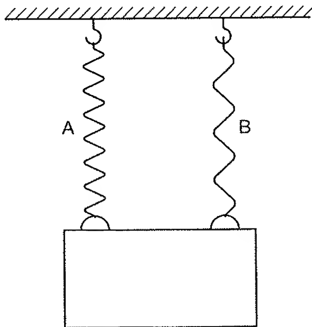


21.8

21.3 Mechanica

H 21

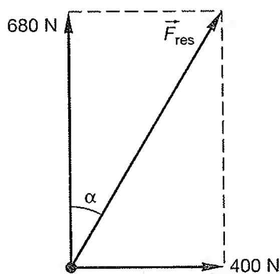
a Zie figuur 21.9.
b $F = C \cdot u \rightarrow F_A = 4{,}8$ N; $F_B = 8{,}1$ N $\rightarrow F_{tot} = 12{,}9$ N
c $F_{tot} = F_z = m \cdot g \rightarrow m = 1{,}31$ kg



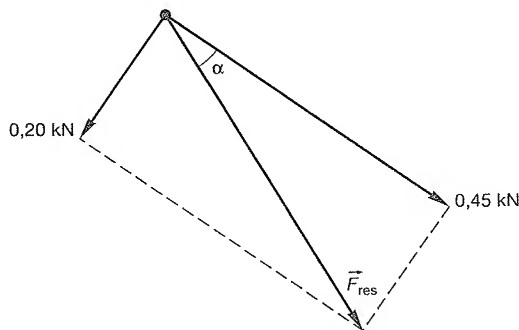
21.9

H 22

a Zie figuur 21.10
b $600^2 + 400^2 = F_{res}^{\ 2} \rightarrow F_{res} = 789$ N
$0{,}20^2 + 0{,}45^2 = F_{res}^{\ 2} \rightarrow F_{res} = 0{,}49$ kN
c $\tan \alpha = F_1 / F_2 \rightarrow$ figuur 21.10a: $\alpha = 30°$; figuur 21.10b: $\alpha = 24°$



21.10a



21.10b

H 23

$a = \Delta v / \Delta t = (-31 - 22) / 0{,}0013 = -40{,}8$ m/s²
$F_R = m \cdot a = 0{,}200 \times -40{,}8 = -8{,}2 \cdot 10^3$ N

H 24

$v = 56$ km/h $= 15{,}6$ m/s
$W = \Delta E_k = \frac{1}{2} \times 900 \times 15{,}6^2 = 1{,}1 \cdot 10^5$ J

H 25

$v_1 = 54$ km/h $= 15{,}0$ m/s
$E_{begin} = E_{eind} \rightarrow$
$E_{z1} + E_{k1} = E_{z2} + E_{k2} \rightarrow$
$0{,}200 \times 9{,}81 \times 16 + \frac{1}{2} \times 0{,}200 \times 15{,}0^2 =$
$0{,}200 \times 9{,}81 \times 4{,}8 + \frac{1}{2} \times 0{,}200 \times v_2^{\ 2} \rightarrow$
$v_2 = 21$ m/s

H 26

a Op de knik; de snelheid is maximaal en naar links gericht.
b Vóór $t = 3{,}0$ s: $a = \Delta v / \Delta t = 0{,}60$ m/s²
Na $t = 3{,}0$ s: $a = 0{,}27$ m/s²
c Vóór 3,0 s: $F_{res} = F_{z,\parallel} + F_w = m \cdot a = 0{,}1134$ N
Na 3,0s: $F_{res} = F_{z,\parallel} - F_w = 0{,}0496$ N
$F_w = 3{,}2 \cdot 10^{-2}$ N

H 27

a $F_{rol} = 100$ N; uit $F_r = 0{,}012 \cdot m \cdot g$ volgt: $m = 8{,}5 \cdot 10^2$ kg
b $v = 30$ m/s $\rightarrow F_{lucht} = 470$ N
$F_{lucht} = \frac{1}{2} \cdot C_w \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$; $\rho = 1{,}29$ kg/m³ $\rightarrow C_w = 0{,}40$
c Constante snelheid:
$F_m = F_w = F_{lucht} + F_{rol} = 400 + 100 = 500$ N
d $W = F \cdot s = 500 \times 1{,}0 \cdot 10^3 = 5{,}0 \cdot 10^5$ J
e Voor 1,00 km is 0,077 L benzine nodig $\rightarrow$
$E_{toe} = 0{,}077 \times 33 \cdot 10^6 = 2{,}54 \cdot 10^6$ J $\rightarrow$
$\eta = 19{,}7\%$
f $F_{lucht} = 540$ N; aflezen in diagram: 32 m/s

E 28

a Het hele vliegwiel draait, dus ook deeltjes die zich dichter bij de as bevinden. Deze deeltjes hebben een kleinere (baan) snelheid dan deeltjes aan de buitenrand. Daarom hebben ze ook een kleinere kinetische energie. De totale kinetische energie bij rotatie dus kleiner dan $E_{rot} = \frac{1}{2} m \cdot v_{rand}$.
b Voor de omloopstijd T geldt: $T = 2\pi \cdot r / v = 5{,}027 \cdot 10^{-3}$ s
$f = 1 / T = 199$ Hz; toerental $= 199 \times 60 = 1{,}19 \cdot 10^4$ min⁻¹
c De hechtende kracht moet minstens gelijk zijn aan F_{mpz}.

$$F_{mpz} / F_z = \frac{m \cdot v^2 / r}{m \cdot g} = v^2 / g \cdot r = 1{,}27 \cdot 10^5$$

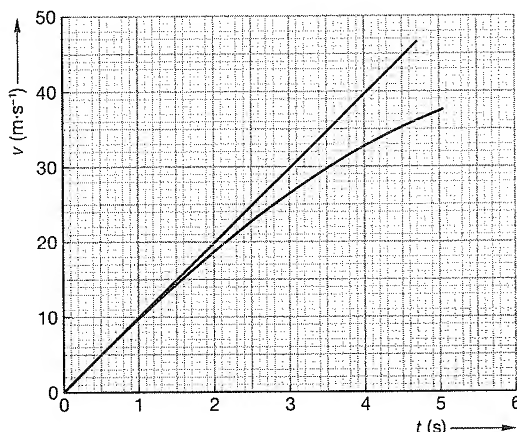
d $\Delta E_z = \Delta E_{rot} \rightarrow \Delta E_z = m \cdot g \cdot \Delta h$
$\Delta h = 3{,}2 \cdot 10^3 \cdot \sin 4{,}0 = 223$ m
$\Delta E_z = 5{,}25 \cdot 10^8$ J
Beginhelling: $E_{rot} = 0{,}25 \times 8{,}6 \cdot 10^3 \times 600^2 = 7{,}74 \cdot 10^8$ J
Aan het eind van de helling:
$E_{rot} = 7{,}74 \cdot 10^8 - 5{,}25 \cdot 10^8 = 2{,}49 \cdot 10^8$ J $\rightarrow$
$v_{rand} = 3{,}4 \cdot 10^2$ m/s

E 29

a $v_{eind} = 38$ m/s (aflezen uit het diagram)
Omgezette zwaarte-energie $= (E_k / E_z) \times 100\% =$
$(\frac{1}{2} m \cdot v^2 / m \cdot g \cdot h) \times 100\% \rightarrow$
Omgezette zwaarte-energie $= (\frac{1}{2} \times 38^2 / 9{,}81 \times 110) \times 100\%$ $= 67\%$
b De tijdsduur voor 110 m vallen volgt uit: $s = \frac{1}{2} g \cdot t^2 \rightarrow$
$t = 4{,}736$ s
Voor de eindsnelheid geldt: $v_{eind} = g \cdot t = 46{,}5$ m/s
De grafiek is dus een rechte vanaf het punt (0;0) tot punt (4,7;46,5). Zie figuur 21.11.
c $F_{gew} = m \cdot g \cdot 10^{-6}$; $m = \rho \cdot V$; $\rho = 0{,}76 \cdot 10^3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$; $V = 1{,}0 \cdot 10^{-6}$ m³
$\rightarrow F_{gew} = 7{,}6 \cdot 10^{-9}$ N

d $v_{eind} = 38$ m/s (aflezen uit het diagram)
$s = v_{gem} \cdot t \rightarrow t = 7{,}5 / (½ \times 38) = 0{,}395$ s
$a = \Delta v / \Delta t = 38 / 0{,}39 = 96{,}3$ m/s²
Dat is 96,3 / 9,81 = 9,8 keer g.
Omdat de capsule over zo'n korte afstand en in zo'n korte tijd wordt afgeremd, ondergaat de capsule een grote versnelling; daar is een grote kracht voor nodig.

e Zolang (vrijwel) alleen de zwaartekracht op de capsule werkt, is de vloeistof (vrijwel) gewichtloos, dus van $t = 0{,}0$ s tot $t = 9{,}5$ s.



21.11

E 30

a Voor een vrije val geldt: $s = ½g \cdot t^2 \rightarrow t = 2{,}47$ s
$v_{eind} = g \cdot t = 24{,}3$ m/s = 87 km/h
Dat is minder dan de 100 km/h die in werkelijkheid wordt gehaald.

b Voor de versnelling geldt: $a = \Delta v / \Delta t = 32{,}9$ m/s²
$F_R = F_{vleugel} + F_z = m \cdot a = 2{,}8 \times 32{,}9 = 92{,}2$ N;
$F_z = m \cdot g = 27{,}5$ N
$F_{vleugel} = 65$ N

c $E_z + E_k \rightarrow E_k$
$m \times 9{,}81 \times 28 + ½m \times 27^2 = ½m \cdot v^2 \rightarrow v = 36$ m/s

E 31

a $F_g = F_{mpz} \rightarrow G \cdot m \cdot M / r^2 = m \cdot v^2 / r \rightarrow v = \sqrt{G \cdot M / r}$

b $r = 1730 \cdot 10^3 + 6{,}378 \cdot 10^6 = 8{,}108 \cdot 10^6$ m
$M = 5{,}976 \cdot 10^{24}$ kg
$v = \sqrt{G \cdot M / r} = 7{,}0129 \cdot 10^3$ m/s
$T = 2\pi \cdot r / v = 7264$ s = 2,018 uur

c De kracht van de vloer op de astronaut zorgt voor de benodigde middelpuntzoekende kracht. Uit de derde wet van Newton volgt dat de astronaut een kracht op de vloer uitoefent. Deze kracht fungeert als een 'kunstmatige zwaartekracht'.

d $\omega = 2\pi / T = 0{,}286$ rad/s
$^1/_3 \cdot F_z = F_{mpz} \rightarrow {}^1/_3 \cdot m \cdot g = m \cdot \omega^2 \cdot r \rightarrow r = 40$ m $\rightarrow$
omtrek $= 2\pi \cdot r = 2{,}5 \cdot 10^2$ m

E 32

a Als Thomas zich in het hoogste punt bevindt, is de snelheid nul en gaat de grafiek van positief naar negatief. Voorbeelden zijn de tijdstippen $t = 0{,}56$ s en $t = 1{,}22$ s. Omdat Thomas vlak voor $t = 0{,}56$ s met de grootste snelheid omhoogging, volgt dat de hoogte op $t = 0{,}56$ s groter was dan op $t = 1{,}22$ s.

b De versnelling volgt uit de steilheid van de raaklijn in het punt $t = 0{,}90$ s.
Voor deze steilheid geldt: $a = \Delta v / \Delta t = 23$ m/s².

c Voor de kracht op de rechtervoetsteun geldt:
$F_R = ½F_z = ½m \cdot g = ½ \times 42 \times 9{,}81 = 206$ N
Volgens de hefboomwet geldt: $F_R \cdot r_{DR} = F_Q \cdot r_{DQ}$
$r_{DR} = 3{,}0$ cm en $r_{DQ} = 1{,}0$ cm volgt: $F_Q = 6{,}2 \cdot 10^2$ N

E 33

a v = C2+A14*D2 dus $v = v_0 + g \cdot dt$
g = A8*A2 / (A6+E3)^2 dus $g = G \cdot M_A / (r_A + h)^2$
h = E2+C3*A14 dus $h = h_0 + v \cdot dt$

b v,t-diagram: snelheid van de raket tegen de tijd;
g,t-diagram: valversnelling die de raket ondervindt tegen de tijd;
h,t-diagram: de hoogte van de raket tegen de tijd.

c $v = 11{,}2 \cdot 10^3$ m/s

d De snelheid wordt constant; de waarde van g wordt 0 en de hoogte neemt evenredig met de tijd toe.

e De snelheid neemt af tot een negatieve waarde. Excel rekent ook nog door nadat de raket is neergestort.
De waarde van g neemt eerst af en daarna weer toe als de raket terugvalt naar de aarde.
De hoogte neemt toe, maar later weer af.

f De lichtsnelheid is de grootst mogelijke snelheid.

g De straal van de aarde wordt kleiner, zodat de zwaartekracht groter wordt en je een grotere snelheid nodig hebt om te ontsnappen aan de aarde.

h De snelheid die wordt berekend is de eindsnelheid in de periode van **dt**. Deze snelheid wordt bij de berekening van de hoogte gebruikt alsof het de hele periode deze snelheid had.

i $v = 8{,}9 \cdot 10^{-3}$ m/s

21.4 Golven en straling

H 34

a Uitwijking: afstand tot aan evenwichtsstand
Amplitudo: maximale uitwijking
Trillingstijd: tijd die nodig is voor een volledige trilling, van uiterste stand via de evenwichtsstand naar de andere uiterste stand en weer terug naar de eerste uiterste stand
Frequentie: aantal trillingen in één s
Fase: aantal trillingen dat een trillend voorwerp heeft uitgevoerd
Gereduceerde fase: deel van de trilling uitgevoerd na doorkomst door de evenwichtstand in positieve richting ofwel de fase zonder het getal voor de komma

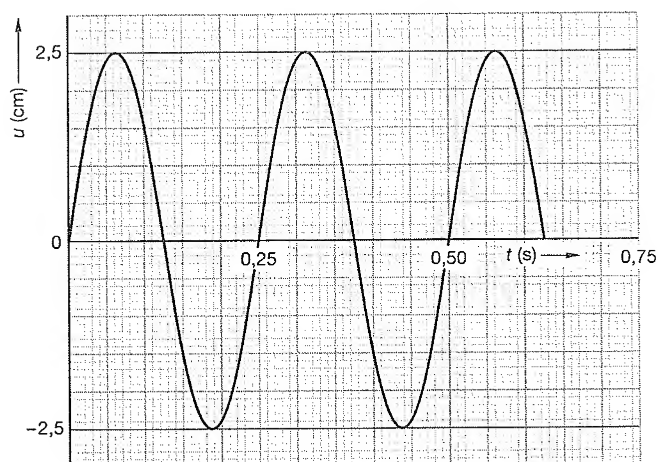
b Zie figuur 21.12.

c Golf: verstoring die zich in een medium voortplant
Transversale golf: golf waarbij de uitwijking van de trillende deeltjes loodrecht staat op de voortplantingsrichting van de golf
Longitudinale golf: golf waarbij de uitwijking van de trillende deeltjes evenwijdig is aan de voortplantingsrichting van de golf
Golfsnelheid: snelheid waarmee de verstoring zicht door het medium voortplant
Medium: de tussenstof waarin de golf zich voorplant

Golflengte: de afstand die de golf in de trillingstijd voortplant, ofwel: een berg en een dal bij elkaar
Resonantie: het meetrillen met een gedwongen frequentie van een voorwerp als de gedwongen frequentie gelijk is aan een eigenfrequentie van het voorwerp
Eigenfrequentie: frequentie waarin het voorwerp van nature kan trillen

d $\lambda = v / f = 30 / 5{,}0 = 6{,}0$ m
$\varphi = 2{,}5 \rightarrow$ de kop van de golf is $2{,}5 \times 6{,}0 = 15$ m van de bron. De amplitudo is onbekend, dus geen verticale schaal. Zie figuur 21.13.

e Zie figuur 21.14.



21.12

H 35

a Je neemt het geluid op met een microfoon. Deze microfoon sluit je aan op een oscilloscoop.

b Met behulp van de time/div bepaal hoe lang één trilling (berg en dal) duurt.
Met $f = 1 / T$ bereken je de frequentie.

c Je ziet meer golven en de amplitude wordt groter.

H 36

Een golf loopt van A naar B.

a A begon het eerste met trillen; heeft de meeste trillingen uitgevoerd en heeft dus de grootste fase.

b Die punten bewegen steeds in dezelfde richting.

H 37

a Je pupil regelt de hoeveelheid licht dat op je netvlies valt.

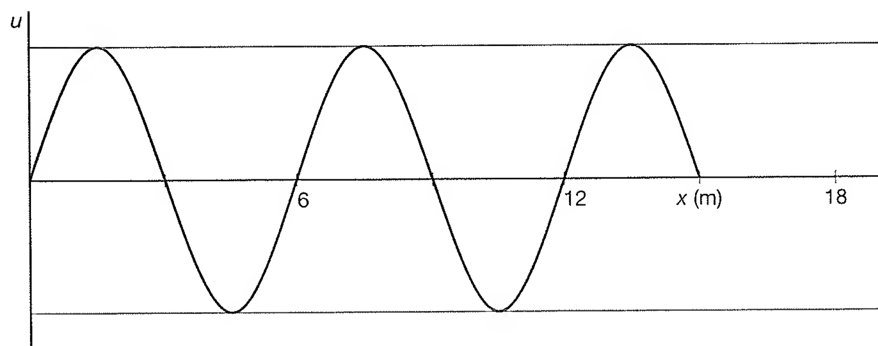
b Als je accommodeert span je oogspieren en wordt je ooglens boller.

c Het vertepunt is de maximale afstand tot waar je nog scherp kunt zien.

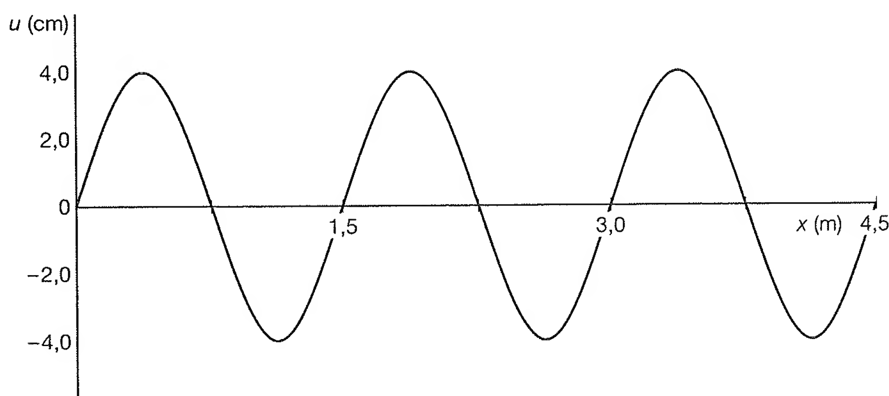
d De nabijheidsafstand is de kleinste afstand waarbij je een voorwerp nog scherp kunt zien.

e Zie de volgende tabel.

	vertepunt	nabijheidspunt	lens
oudziend		groter dan 15 cm	+
bijziend	minder ver	kleiner dan 15 cm	−
verziend	om ver weg te kijken is accommoderen nodig	groter dan 15 cm	+



21.13



21.14

H 38

a Neerslag uit een wolk van radioactief materiaal

b 1 Kosmos: natuurlijk, uitwendig
2 Kerncentrale: kunstmatig; uitwendig en inwendig
3 Rotsen: natuurlijk, uitwendig
4 Medische behandeling: kunstmatig; meestal inwendig
5 Voedsel: natuurlijk; inwendig
6 Atoombom: kunstmatig, uitwendig en inwendig

c De straling bereikt de mens via een omweg (als gas of als fijn stof in de atmosfeer).

d De atmosfeer zorgt voor steeds zwakkere straling.

H 39

1 Fotografische platen: eenvoudige apparatuur; duurt een tijd voordat de platen ontwikkeld zijn
2 Badge: klein, gemakkelijk; oude modellen moeten eerst ontwikkeld worden
3 Geigerteller: ioniserende straling kan snel gemeten worden; hoge spanning nodig
4 Bellen- of nevelvat: baan van de deeltjes zichtbaar te maken; groot en duur apparaat
5 Dradenkamer: plaats en energie van de deeltjes te meten; hoge spanning, ingewikkeld en duur apparaat

H 40

a achtergrondstraling in 10 s: 5 / 3 = 2 deeltjes
Van de bron: 61 – 2 = 59 deeltjes. Per seconde zijn dat gemiddeld 5,9 deeltjes

b 5,9 deeltje ≙ 2,5% → 100% = 236 = $2{,}4 \cdot 10^2$ deeltjes

c Een ioniserend deeltje veroorzaakt een lawine aan geïoniseerde deeltjes. Als er al een lawine aan de gang is, komen er alleen wat ionen bij. Er wordt geen nieuwe lawine geconstateerd.

d De bron straalt naar alle kanten.

e 236 deeltjes ≙ 1,2% → 100% = $1{,}97 \cdot 10^4 = 2{,}0 \cdot 10^4$ deeltjes

H 41

a Voorkomt besmetting: aan de handen kan radioactief materiaal zijn blijven zitten. Inwendig is de stralingsweegfactor van α-straling erg groot.

b α-straling wordt door de lucht en anders door de behuizing al tegengehouden. Het gevaar bij α-straling is juist inwendige besmetting.

E 42

a Zie figuur 21.15. Als de slinger door de evenwichtstand gaat (zowel heen als terug) is de kinetische energie maximaal.

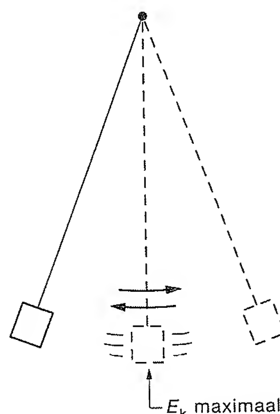
b Zie figuur 21.16.

c Uit het gegeven E_k,t-diagram:
Een halve periode is tussen twee tijdstippen dat E_k maximaal is:
$\frac{1}{2}T = 0{,}94 - 0{,}32 = 0{,}62 \rightarrow T = 1{,}24$ s
Alternatief:
Een hele periode is de tijd vanaf ene uiterste stand via de andere, terug naar de 'eerste' →
$T = 1{,}24 - 0 = 1{,}24$ s
$E_{k,max} = \frac{1}{2} m \cdot v^2_{max}$; $E_{k,max} = 0{,}20$ J → $v_{max} = 1{,}2$ m/s

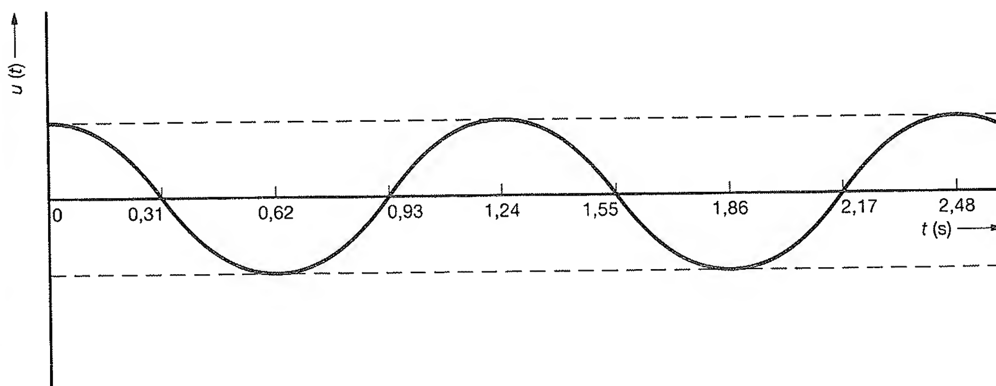
d $T = 2\pi \cdot \sqrt{\ell / g} \rightarrow \ell = g \cdot T^2 / (4\pi^2) \rightarrow$
$\ell = 1{,}54 \times 9{,}81 / (4\pi^2) = 0{,}38$ m

e Uit de WBE volgt dat overal geldt: $E_k + E_p = 0{,}20$ J
In een uiterste stand is $E_k = 0$ J → $E_{p,max} = 0{,}20$ J (gegeven diagram)
$E_{p,max} = m \cdot g \cdot h$ waarin h hoogteverschil tussen uiterste en evenwichtsstand. $0{,}20 = 0{,}29 \times 9{,}81 \times h \rightarrow h = 0{,}0703$ m
Uit de figuur van de opstelling:
$\cos \alpha = (0{,}38 - 0{,}0703) / 0{,}38 \rightarrow \alpha = 0{,}61$ rad = 35°
Alternatief:
$v_{max} = 2\pi \cdot A / T \rightarrow A = 0{,}23$ m
$\sin \alpha = 0{,}23 / 0{,}38 \rightarrow \alpha = 37°$

f Op soortgelijke manier als vorige vraag: als $\alpha = 9{,}0°$ is
$E_{p,9} = 0{,}013$ J →
$E_{k,9} = 0{,}20 - 0{,}013 = 0{,}18$ J



21.15



21.16

E 43

a $T = 2\pi\sqrt{M / C} \rightarrow C / M = (2\pi \cdot f)^2$; $M = C / (2\pi \cdot f)^2 = 24{,}3 / (2\pi \cdot 0{,}344)^2 = 5{,}2$ kg

b $F_v = F_z = 5{,}2 \times 9{,}81 = 51$ N; $u = F_v / C = 2{,}1$ m $\rightarrow$
De lengte van de (uitgerekte) veer is 2,51 + 2,1 = 4,6 m.

c De massa van de veer zelf zorgt voor een extra zwaartekracht; de lengte van de veer zal groter zijn.

d $T = 2\pi\sqrt{\ell / g} = 3{,}17$ s

e De trillingstijd van een slinger is onafhankelijk van de massa.

E 44

a De resonantiebuizen hebben precies die lengte dat de lucht in de buis in resonantie gebracht kan worden door het geluid van de klankstaaf die er boven ligt.

b Zie figuur 21.17.

c PQ = ½λ $\rightarrow \lambda = 0{,}390$ m
$v = f \cdot \lambda \rightarrow v = 1{,}72 \cdot 10^2$ m/s

d De voortplantingssnelheid van geluidsgolven in lucht bij 20 °C is 343 m/s. $\lambda = v / f = 78$ cm.
De lengte van de buis = $^1/_4\lambda - 1{,}3$ cm = 19,5 − 1,3 = 18,2 cm.

e Voor de eerste boventoon is de frequentie twee keer zo groot, dus $f_1 = 880$ Hz
Voor de eerste boventoon van de resonantiebuis geldt:
$^3/_4\lambda = 19{,}2$ cm, dus bij een frequentie van 1320 Hz. De eigenfrequentie is niet gelijk aan de gedwongen frequentie, dus er treedt geen resonantie op.

E 45

a Een dvd (en ook een cd) werken als een reflectietralie. In plaats van het licht door te laten, reflecteert een dvd het licht. Het spiegelbeeld ontstaat ten gevolge van het nulde orde maximum. Het eerste orde maximum is een spectrum.

b In dat geval kaatst de laserstraal terug naar de laser. Je ziet de teruggekaatste laserstraal bij de opening van de laser.

c $\tan \alpha_1 = 9{,}4 / 20{,}0 = \rightarrow \alpha_1 = 25{,}2° \rightarrow \sin \alpha_1 = 0{,}425$
$\sin \alpha_1 = 1 \cdot \lambda / d \rightarrow d = 1{,}5 \cdot 10^{-6}$ m
Voor $n = 2$ op dezelfde manier: $d = 1{,}49 \cdot 10^{-6}$ m

d $\tan \alpha_1 = 34{,}5 / 20{,}0 \rightarrow \alpha_1 = 59{,}9° \rightarrow \sin \alpha_1 = 0{,}865$
$d = 0{,}731 \cdot 10^{-6}$ m

e $\alpha_{max} = 90°$ met $\sin \alpha_n = n \cdot \lambda / d$ vind je dat $n_{max} = 1{,}15$ zodat alleen $n = 1$ een maximum oplevert.

f d is kleiner, dus de sporen zijn smaller. Er staan meer sporen op een dvd dan op een cd.

g De golflengte van blauw licht is kleiner dan van rood licht. Daardoor kunnen de sporen smaller worden en de putjes kleiner.

E 46

a De lichtstraal breekt bij de overgang water – lucht van de normaal af. Dat is alleen het geval bij stralengang A, dus die is juist. De vogel ziet de vis dus rechts van de plaats waar die zich in werkelijkheid bevindt.

b De hoek van inval is 45°, de hoek van breking is 30°.
$n = \sin i / \sin r = 1{,}4$

E 47

a Evelien is verziend. De brandpuntsafstand van haar ooglens is te klein; ze kan niet voldoende accommoderen. Omdat ze de bril de hele dag op heeft, moet ze ook al flink accommoderen om in de verte te zien.

b Haar vertepunt ligt verder dan het oneindige; haar nabijheidspunt ligt verder dan bij een normaalziend oog.

c Trek de grenslijnen van de lichtbundel die op het papier valt, door. Deze snijden in het brandpunt. Er geldt:

$$f \approx \frac{5}{3} \times 30 = 50 \text{ cm}$$

$S = 1 / f = 1 / 0{,}50 = 2$ dpt

d Horizontaal is de breking sterker dan verticaal, dus de brandpuntsafstand is horizontaal kleiner.

E 48

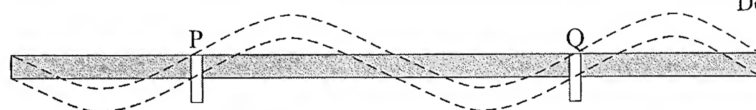
a Zie figuur 21.18.

b $v = 72$ cm; $b = 225 - 72 = 153$ cm; met de lenzenformule: $f = 49$ cm

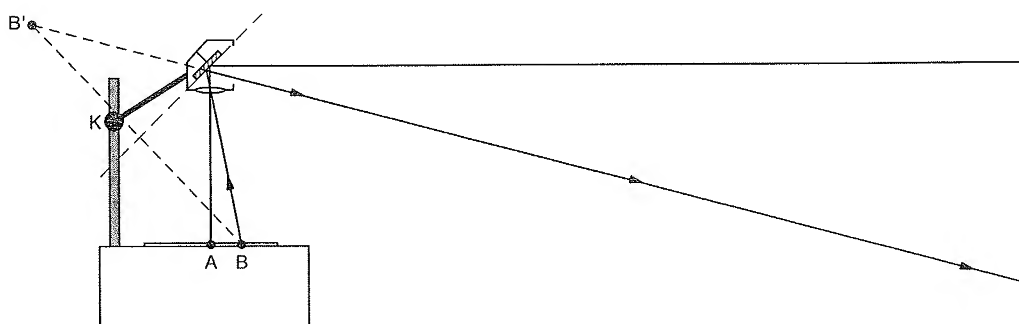
c Vanwege de spiegelwet (hoek van inval = hoek van terugkaatsing) hoeft de spiegel maar over de halve hoek gedraaid te worden.
$\tan 2\alpha = 42 / 225 \rightarrow \alpha = 5{,}3°$

d De beeldafstand wordt groter, de lenssterkte blijft gelijk, dus volgens de lenzenformule moet de voorwerpsafstand kleiner gemaakt worden. De kop van de overheadprojector moet naar beneden worden gedraaid.

e Met de stelling van Pythagoras vind je:
$b' = \sqrt{153^2 + 42^2} = 159$ cm
Met de lenzenformule vind je de nieuwe voorwerpsafstand: $v' = 71$ cm.
De kop moet 1 cm naar beneden worden geschoven.



21.17

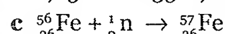
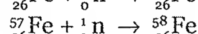
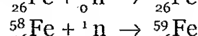
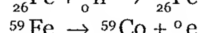
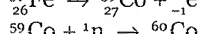


21.18

E 49

a Wil men nu een lager, constant vermogen produceren dan zal men eerst de regelstaven iets in de reactorkern moeten schuiven (waardoor de vermenigvuldigingsfactor $k < 1$ wordt); als het vereiste vermogen bereikt is, zal men de regelstaven weer naar het oude niveau terug moeten brengen (zodat de vermenigvuldigingsfactor k weer 1 wordt).

b De centrale produceert een totaal vermogen van $200 \cdot 10^6 / 0{,}20 = 1{,}0 \cdot 10^9$ W.
Per uur wordt dus $1{,}0 \cdot 10^9 \times 3600 = 3{,}6 \cdot 10^{12}$ J geproduceerd.
Per splijting komt vrij $180 \times 1{,}602 \cdot 10^{-13} = 2{,}884 \cdot 10^{-11}$ J.
Per uur worden dus $3{,}6 \cdot 10^{12} / 2{,}884 \cdot 10^{-11} = 1{,}25 \cdot 10^{23}$ uraniumkernen gespleten. Deze kernen hebben een massa van $1{,}25 \cdot 10^{23} \cdot 235 \cdot 1{,}66054 \cdot 10^{-27} = 0{,}049$ kg.

c 
$^{56}_{26}Fe + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{57}_{26}Fe$

$^{57}_{26}Fe + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{58}_{26}Fe$

$^{58}_{26}Fe + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{59}_{26}Fe$

$^{59}_{26}Fe \rightarrow ^{59}_{27}Co + ^{0}_{-1}e$

$^{59}_{27}Co + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{60}_{27}Co$

d Voor het aantal kernen geldt:
$N(t) = N(0) \cdot (½)^{t/t_{½}}$; $t_{½} = 5{,}27$ jaar. Invullen levert:

$$\frac{N(40)}{N(0)} \times 100\% = 5{,}19 \cdot 10^{-3} \times 100\% = 0{,}52\%$$

e Voor deze straling geldt: $d_{½} = 4{,}6$ cm.
$I(x) = I(0) \cdot (½)^{x/d_{½}} \rightarrow I(x) / I(0) = 0{,}0010 \rightarrow x = 46$ cm

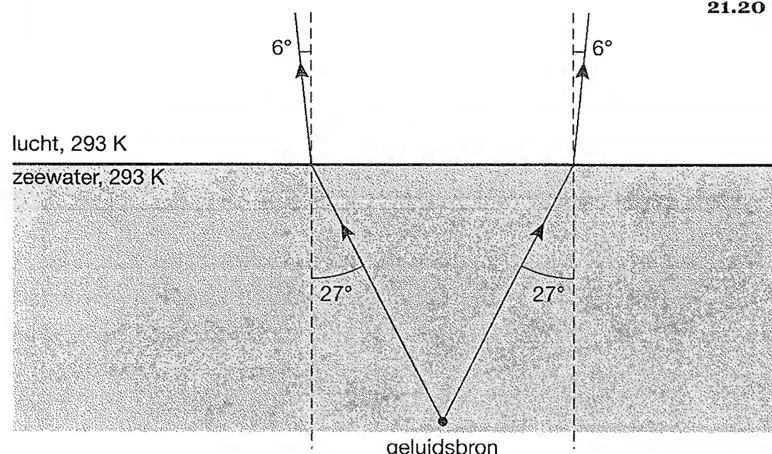
f $A = 0{,}5\ m^2 = 5 \cdot 10^3\ cm^2$;
Per seconde dus $4 \times 5 \cdot 10^3 = 2 \cdot 10^4$ γ-deeltjes.
$E = 2 \cdot 10^4 \times 1{,}6 \cdot 10^{-13} = 3 \cdot 10^{-9}$ J per seconde
Dat is in één minuut: $60 \times 3 \cdot 10^{-9} = 2 \cdot 10^{-7}$ J.
$H = 1 \times 2 \cdot 10^{-7} / 85 = 2 \cdot 10^{-9}$ Sv. Dit is ver beneden de norm (▸binas tabel 27G).

21.5 Gecombineerde opdrachten

E 50

a $v_{zeewater} = 1{,}51 \cdot 10^3$ m/s. Het geluid heeft afgelegd:
$s = v_{zeewater} \cdot t = 1{,}51 \cdot 10^3 \times 4{,}35 = 6{,}569 \cdot 10^3$ m
De afstand van het schip tot de rots is dan:
$6{,}569 \cdot 10^3 / 2 = 3{,}28$ km.

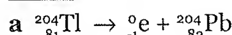
b $\lambda = v_{zeewater} / f = 0{,}76$ m



21.19

c Voor de brekingsindex geldt: $n = v_{zeewater} / v_{lucht} = 4{,}40$
Opmeten: $i = 27°$
Er geldt: $\sin i / \sin r = 4{,}40 \rightarrow r = 5{,}9°$
Zie figuur 21.19.

E 51

a 
$^{204}_{81}Tl \rightarrow ^{0}_{-1}e + ^{204}_{82}Pb$

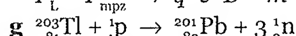
b $203{,}97387 - 81\ m_e = 203{,}97304 - 82\ m_e + m_e + \Delta m$
$\Delta m = 8{,}3 \cdot 10^{-4}$ u
$E_{max} = 8{,}3 \cdot 10^{-4} \times 931{,}49 = 0{,}77$ MeV

c De camera is gevoelig voor γ-straling; bovendien hebben α- en β-straling een veel kleinere dracht.

d Tl-204 heeft drie neutronen meer dan Tl-201; het heeft een langere halveringstijd; het zendt β^--straling uit en Tl-201 γ-straling.

e Protonen zijn positief geladen. F_L is naar beneden gericht, dus $\vec{B}$ is papier uit gericht.

f $E_k = ½ m \cdot v^2 \rightarrow v = 9{,}76 \cdot 10^6$ m/s
$F_L = F_{mpz} \rightarrow q \cdot v \cdot B = m \cdot v^2 / r \rightarrow B = 8{,}2 \cdot 10^{-2}$ T

g 
$^{203}_{81}Tl + ^{1}_{1}p \rightarrow ^{201}_{82}Pb + 3\ ^{1}_{0}n$

h $A(t) = (\ln 2 / t_{½}) \cdot N(t)$
$t_{½} = 72\ h = 2{,}592 \cdot 10^5$ s
Aflezen: $N_{Tl\ max} = 7{,}4 \cdot 10^6 \rightarrow A = 20$ Bq

E 52

a $E = U \cdot I \cdot t = 230 \times 5{,}0 \cdot 10^{-3} \times 365 \times 24 \times 3600 = 36{,}3$ MJ = 10 kWh
Kosten: $10 \times 0{,}15 =$ € 1,50

b Zie de tabel van figuur 21.20. Bij stand 5 is de nuttige opbrengst het hoogst.

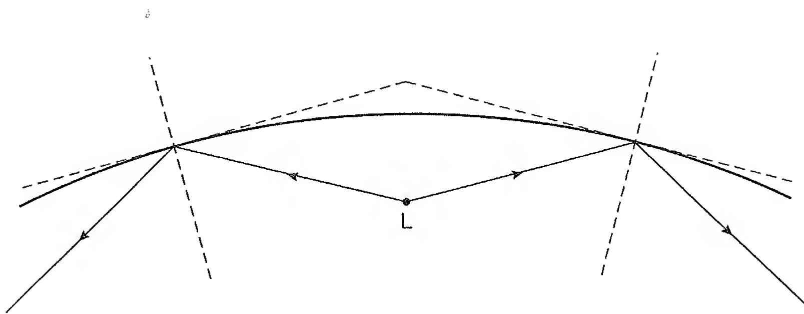
c Zie figuur 21.21.

d Oppervlakte $A = \pi \cdot r^2 = 2{,}01\ m^2$
Lichtstroom $= 982 \times 2{,}01 = 1{,}97 \cdot 10^3$ lm. Dit is meer dan er op de verpakking staat.

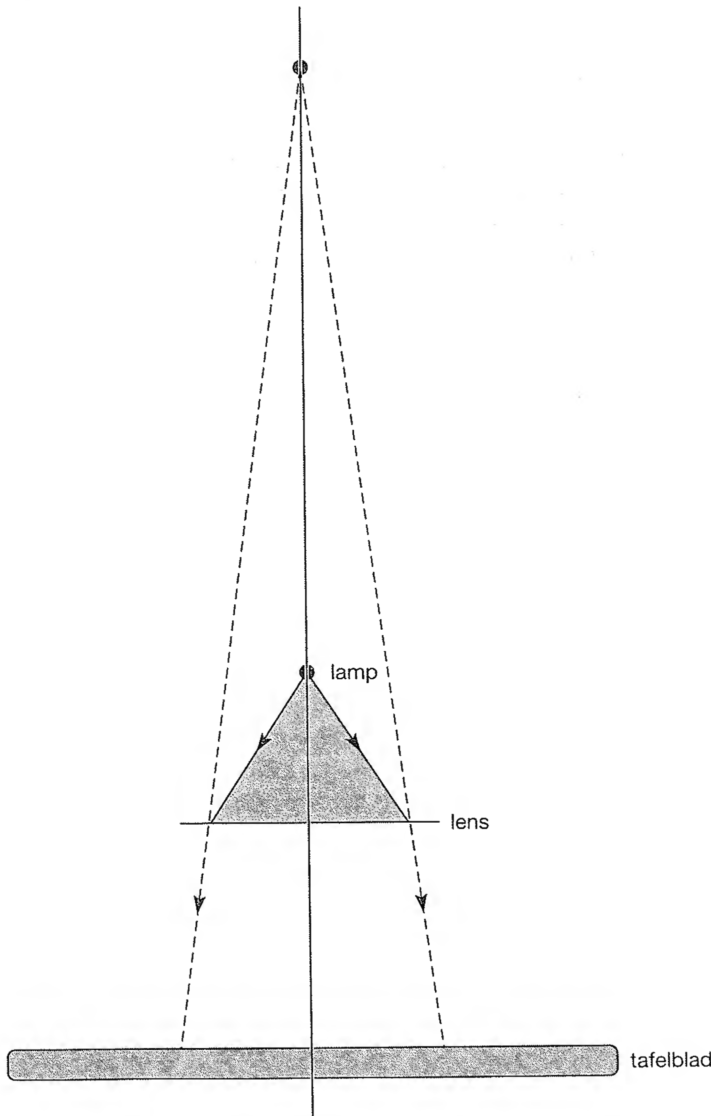
e $f = 25$ cm; $v = 20$ cm; met de lenzenformule: $b = -100$ cm
Zie figuur 21.22.

stand S	I (A)	E (lx)	P (W)	$\frac{E}{P}$ (lx · W⁻¹)
0	$5{,}0 \cdot 10^{-3}$	0	1,15	0
1	0,10	2	23,0	0,087
2	0,20	87	46,0	1,89
3	0,30	478	69,0	6,93
4	0,40	915	92,0	9,95
5	0,42	982	96,6	10,2

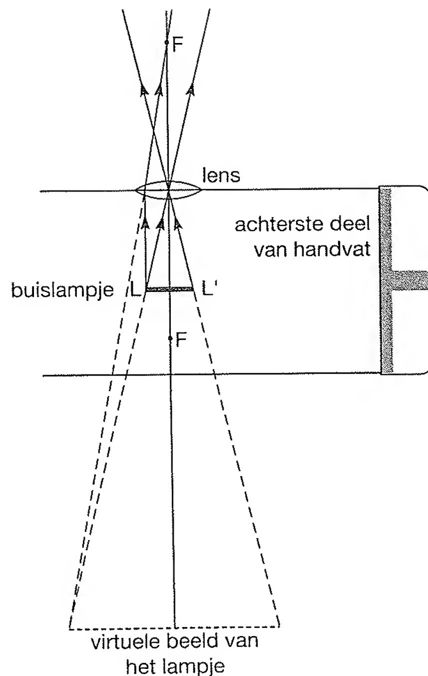
21.20



21.21



21.22



21.23

E 53

a De zekering smelt pas bij een veel grotere stroomsterkte (16 A) door.

b De aardlekschakelaar

c $R = \rho \cdot \ell / A$; $\rho = 10^{13}$ Ωm; $\ell = 4{,}0 \cdot 10^{-3}$ m; $A = 2{,}0 \cdot 10^{-2}$ m² →
$R = 2 \cdot 10^{12}$ Ω.
De stroomsterkte is hoogstens:
$I = U / R = 230 / 2 \cdot 10^{12} = 1{,}2 \cdot 10^{-10}$ A
Dit is veel minder dan enkele mA; de zolen voldoen als de monteur niets anders aanraakt.

d $R_1 + R_2 = 1{,}0 \cdot 10^6 + 300 \cdot 10^3 = 1{,}3 \cdot 10^6$ Ω
$U = 230 - 80 = 150$ V
$I = U / R = 1{,}15 \cdot 10^{-4}$ A
$R_{lampje} = U / I = 6{,}9 \cdot 10^5$ Ω

e Zie figuur 21.23.

f $v = 8{,}0$ mm; N = 4 → $b = 4 \times v = 32$ mm
Met de lenzenformule vind je: $f = 11$ mm.

E 54

a Afstand trappers – draaipunt is 1,4 cm.
Afstand draaipunt – tanden is 0,8 cm.
Moment linksom = moment rechtsom →
$F_z \cdot r_1 = F_{op\ ketting} \cdot r_2$
$F_z = m \cdot g = 882$ N
$F_{op\ ketting} = 1{,}5 \cdot 10^3$ N

b Gewichtskracht van de ring = $F_z = m \cdot g = 39 \cdot 9{,}81$ = 382,59 N
Kies S in de vooras. F_R is de resulterende kracht op de achteras, bestaande uit de gewichtskracht van de schijf en het onderstel.
Afstand achteras draaipunt is 4,3 cm.
$M_1 + M_2 = 0 \rightarrow 882 \times 1{,}4 - F_R \times 4{,}3 = 0 \rightarrow$
$F_R = 287$ N (naar boven)
$F_R = F_{onderstel} - F_z \rightarrow 287 = F_{onderstel} - 383 \rightarrow F_{onderstel} = -96$ N

c $E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = 1180$ J $\rightarrow$
$t = E / P = 1180 / 120 = 9{,}8$ s

d $P = F_w \cdot v \rightarrow 120 = F_w \cdot 28 / 3{,}6 \rightarrow$
$F_w = 15$ N

e De kracht van de ketting levert een moment rechtsom, dus moet het moment van de wrijving linksom zijn. De wrijving werkt een beweging tegen. De stalen ring draait door de kracht van de ketting rechtsom.

f Kies de as van het achtertandwiel als draaipunt. Opmeten in de tekening:
$r_{ring} = 1{,}6$ cm; $r_{tandwiel} = 0{,}4$ cm
$M_1 + M_2 = 0 \rightarrow F_s \cdot 0{,}4 - F_w \cdot 1{,}6 = 0 \rightarrow$
$F_s : F_w = 4 : 1$

E 55

a 29 uur 11 minuten = $1{,}05 \cdot 10^5$ s
$v = s / t = 3{,}021 \cdot 10^6 / 1{,}05 \cdot 10^5 = 28{,}8$ m/s = 104 km/h

b Vermogen dat de zonnecellen leveren:
$1{,}7 \cdot 10^3 \times 100 / 97 = 1{,}753 \cdot 10^3$ W
Vermogen van de zon op 9,0 m²:
$1{,}753 \cdot 10^3 \times 100 / 24{,}5 = 7{,}153 \cdot 10^3$ W
Dat is $7{,}153 \cdot 10^3 / 9{,}0 = 7{,}9 \cdot 10^2$ W/m²

c $P = F \cdot v \rightarrow F = P / v$
$P / v = \frac{1}{2} C_w \cdot \rho \cdot A \cdot v^2 \rightarrow$
$v^3 = 2 \cdot P / (C_w \cdot \rho \cdot A) \rightarrow$
$v = 31{,}9$ m/s = $1{,}2 \cdot 10^2$ km/h

d Per uur 1,7 kWh. De Nuna kan dan nog 5,0 / 1,7 = 2,9 uur rijden met een snelheid van 115 km/h.
Hij legt dan $3{,}4 \cdot 10^2$ km af.

e $F_w = 124$ N; $P = F \cdot v \rightarrow P = 6{,}015 \cdot 10^3$ W
De accu levert $(6{,}015 - 1{,}700) \cdot 10^3 = 4{,}315 \cdot 10^3$ W en kan dat $(5{,}000 \cdot 10^3) / (4{,}315 \cdot 10^3) = 1{,}2$ uur volhouden.

f De auto gebruikt: $3{,}010 \cdot 10^3 / 16 = 188$ L = 0,188 m³ diesel.
De verbrandingswarmte van diesel (gasolie) is: $36 \cdot 10^9$ J/m³ ((▸binas) tabel 28A) $\rightarrow$
$E = 0{,}188 \times 36 \cdot 10^9 = 6{,}8 \cdot 10^9$ J
De Nuna ontving in de volle zon: $7{,}153 \cdot 10^3$ W (vraag b).
$E = P \cdot t \rightarrow E = 7{,}153 \cdot 10^3 \times 111{,}240 \cdot 10^3 = 0{,}80 \cdot 10^9$ J
De auto gebruikt dus 6,8 / 0,8 = 8,5× zo veel energie.

g De massa van twee protonen, twee neutronen en twee elektronen samen bedraagt:
$2 \times 1{,}007276 + 2 \times 1{,}008665 + 2 \times 5{,}4858 \cdot 10^{-4} = 4{,}032974$ u $= 6{,}6969 \cdot 10^{-27}$ kg
Deze fuseren samen tot een He-4 atoom. De massa van zo'n atoom is: 4,002603 u. Bij de fusie wordt 0,030371 u in energie omgezet, dat is $5{,}0432 \cdot 10^{-29}$ kg. Met $E = m \cdot c^2$ vind je dat er per fusie een energie van $4{,}54 \cdot 10^{-12}$ J vrijkomt.
Nodig is: $0{,}80 \cdot 10^9$ J (opgave f). Er zijn dus $0{,}80 \cdot 10^9 / 4{,}54 \cdot 10^{-12} = 1{,}76 \cdot 10^{20}$ fusies nodig. De massa per fusie is: $6{,}6969 \cdot 10^{-27}$ kg, zodat er $1{,}76 \cdot 10^{20} \times 6{,}6969 \cdot 10^{-27} = 1{,}18 \cdot 10^{-6}$ = 0,0012 g brandstof meegenomen moet worden.

E 56

a Op 24 uur is de temperatuur 25,46 °C; op $t = 0$ was de temperatuur 20 °C. De temperatuur is gestegen.

b Alleen tussen 6 uur en 18 uur is er ingestraalde energie.

c De instraling gaat via een sinusfuctie. Midden op de dag is de instraling het grootste.

d E_{max} kan kleiner gemaakt worden, of **k1** kan groter gemaakt worden.

e **k1** = 11,98

f P_{gem} = oppervlakte / tijd = 7643 / 12 = 637 W

g Een mogelijkheid: **k2** = 0,0007; **k1** = 13,3

h De laagste temperatuur is het moment dat P net stijgt en gelijk is aan 0 $\rightarrow t = 6{,}55$ uur.

i Als de zon net op is, dan straalt ze nog niet veel warmte in, terwijl er nog wel warmte wordt uitgestraald.

colofon
basisontwerp: Greet Egbers, Marieke Zwartenkot, Amsterdam
opmaak: Mediabuilders, Zutphen
technisch tekenwerk: Mediabuilders, Zutphen

ISBN 978-90-11-09915-9

225301

www.natuurkundeoveral.epn.nl/v4

LEERBOEK SITE UITWERKINGEN DOCENTENKIT

auteurs

Pieter Hogenbirk
Jan Frankemölle
Dik Jager
Raoul Majewski
André van der Hoeven
Theo Timmers

epn

ISBN 978-90-11-09915-9

